

Florian Hacker, Rita Cyganski, Johannes Hartwig

## Szenarien zur Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr bis 2030

Das im Projekt Renewability II entwickelte Klimaschutzszenario zeigt, dass der Verkehrssektor zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung beitragen kann. Dabei kann ambitionierter Klimaschutz im Verkehr gleichzeitig individuelle Mobilität sicherstellen und positive volkswirtschaftliche Effekte erzeugen. Eine entsprechende Entwicklung setzt allerdings eine integrierte Maßnahmenausgestaltung voraus, die ebenso technische Effizienzsteigerungen wie auch Verkehrsverlagerung im Güter- und Personenverkehr fördert. Das Renewability-Basiszenario zeigt, dass bisherige Maßnahmen nicht ausreichen, um einen Entwicklungspfad einzuschlagen, der auch längerfristige Minderungsziele realisierbar erscheinen lässt. Die Energieziele der Bundesregierung werden in der Basisentwicklung klar verfehlt. Das vorgestellte Klimaschutzszenario zeigt demgegenüber einen möglichen Weg auf, der die Langfristziele der Bundesregierung erreicht.

Die Verkehrsnachfrage hat sich in den vergangenen Jahrzehnten stetig erhöht: Seit 1960 ist die Verkehrsleistung im Personenverkehr um das Vierfache, im Güterverkehr um mehr als das Dreifache gestiegen. Heute gehen nahezu 30% des Endenergiebedarfs und etwa 20% der Treibhausgasemissionen in Deutschland auf den Verkehr zurück. Über 90% der eingesetzten Energie basiert weiterhin auf Erdöl.<sup>1</sup> Angesichts eines

1 Vgl. IFEU: Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMOM, Version 5.2) für die Emissionsberichterstattung 2012, Endbericht, Heidelberg 2011.

**Florian Hacker**, Dipl.-Geoökologe, ist Projektleiter im Bereich Infrastruktur, Unternehmen am Öko-Institut.

**Rita Cyganski**, Dipl.-Geographin, leitet die Forschungsgruppe Nachfragemodellierung am Institut für Verkehrsforschung im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

**Johannes Hartwig**, M. Phil., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme am Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

prognostizierten weiteren, wenn auch moderateren Anstiegs des Personen- und Güterverkehrs steht der Verkehrssektor in den kommenden Dekaden vor der besonderen Herausforderung, das Bedürfnis nach Mobilität von Personen und Gütertransport mit dem Anspruch einer nachhaltigen Entwicklung in Einklang zu bringen. Die Bundesregierung hat sich im Rahmen des Energiekonzepts das Ziel gesetzt, den Energieverbrauch des Verkehrs um 10% bis 2020 und um 40% bis 2050 gegenüber 2005 zu verringern.<sup>2</sup> Im Gegensatz zu den klar definierten Zielen steht die Diskussion über notwendige Maßnahmen und mögliche Entwicklungspfade für den Verkehrssektor noch am Anfang.

### Das Projekt Renewability

Im Rahmen des vom Umweltbundesamt sowie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Forschungsprojektes Renewability II (2010-2012)<sup>3</sup> entwickelten die Wissenschaftler des Öko-Institut, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt sowie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung einen Modellverbund, der es ermöglicht, durch Szenariobetrachtungen die Wirkung von Maßnahmen und veränderten Rahmenbedingungen auf den Verkehrssektor darzustellen. Ein besonderer Fokus des Projektes lag auf der modellgestützten Betrachtung der Wechselwirkungen verschiedener Maßnahmen untereinander sowie zwischen dem Verkehrs- und dem Energiesektor. Der gewählte Ansatz bildet die Entwicklungen im Verkehrssektor bis 2030 sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite ab und quantifiziert ökonomische Effekte und deren mögliche Rückwirkung auf die Verkehrsnachfrage. Die Analyse der Maßnahmenwirkungen sowie die anschließende CO<sub>2</sub>-Bilanzierung umfassen den innerdeutschen Straßen-, Schienen- und Binnenschiffverkehr und seine direkten und indirekten Emissionen.

### Szenarioprozess und die Szenarioausgestaltung

Die Modellentwicklung und Szenarioausgestaltung erfolgte in enger Kooperation mit unterschiedlichen gesellschaftlichen Akteuren. Das Ergebnis des zweijährigen

2 Vgl. Bundesregierung: Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011, Berlin 2011.

3 Alle Publikationen zum Forschungsprojekt stehen unter [www.renewability.de](http://www.renewability.de) zum Download bereit.

Prozesses unter Beteiligung von Stakeholdern der Automobil-, Bahn-, Energie-, Logistik- und Mineralölbranche sowie von Umwelt- und Verbraucherschutzverbänden war die gemeinsame Ausgestaltung eines Basisszenarios sowie eines konsistenten Klimaschutzszenarios für den Verkehr bis 2030.

Das als Vergleichsbasis dienende *Basisszenario* berücksichtigt verkehrspolitische Maßnahmen, die bereits geltendes Recht sind bzw. deren Umsetzung bereits beschlossen ist. Die Entwicklung des *Klimaschutzszenarios* stand unter der Maßgabe, ein konsistentes Maßnahmenbündel zu entwerfen, das einen möglichst hohen Klimaschutzbeitrag des Verkehrssektors bis 2030 ermöglicht. Die Ausgestaltung des Klimaschutzszenarios geht deutlich über das Basisszenario hinaus und umfasst anspruchsvolle Maßnahmen zur Steigerung der technischen Fahrzeugeffizienz, zum Einsatz alternativer Kraftstoffe und einen erheblichen Anstieg der Kraftstoffpreise sowie Maßnahmen zur Verlagerung von Verkehren auf energieeffizientere Verkehrsmittel.<sup>4</sup>

### Ergebnisse

Die Ergebnisse von Basis- und Klimaschutzszenario zeigen zwei mögliche Entwicklungen für den Verkehrssektor auf, die anhand der Entwicklung von Fahrzeugbestand, Verkehrsnachfrage, den ökonomischen Effekten sowie des resultierenden Endenergiebedarfs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs für den Zeitraum bis 2030 beschrieben werden können.

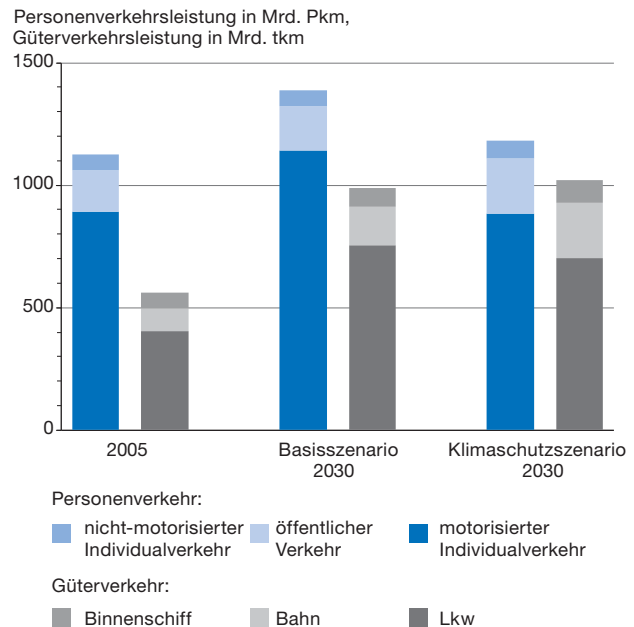
#### Fahrzeugbestand und Verkehrsnachfrage

Bereits in der Basisentwicklung führt die Einführung der CO<sub>2</sub>-Emissionsstandards für Pkw zu einem deutlichen technologischen Effizienzanstieg und einer Zunahme des Anteils kleinerer Fahrzeuge an den Pkw-Neuzulassungen von 19% (2005) auf 25% (2030). Sinkende Wegekosten und damit einhergehend eine höhere Attraktivität des motorisierten Individualverkehrs resultieren in der Basisentwicklung in einer steigenden Fahrleistung. Im Klimaschutzszenario tragen Elektrofahrzeuge wesentlich zum Erreichen der verschärften Flottengrenzwerte bei. Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs sinkt im Klimaschutzszenario gegenüber dem Basisszenario im Jahr 2030 insbesondere in Agglomerationsräumen zu Gunsten des Öffentlichen Verkehrs (+26%) sowie des Rad- und Fußverkehrs (+15%) (vgl. Abbildung 1). Im Güterverkehr

4 Eine ausführliche Diskussion der Maßnahmenausgestaltung von Basis- und Klimaschutzszenario findet sich in der Ergebnisbroschüre „Renewability II – Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs“ (Download unter: [www.renewability.de](http://www.renewability.de)).

Abbildung 1

### Personenverkehrs- und Güterverkehrsleistung im Basis- sowie im Klimaschutzszenario 2030

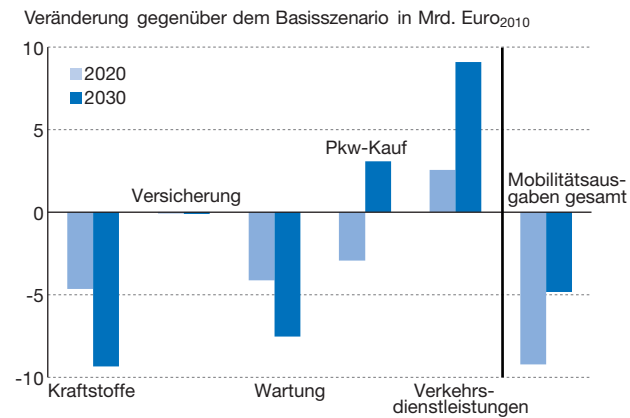


kann der Kraftstoffverbrauch von Lkw-Neuzulassungen bis zum Jahr 2030 um 30% reduziert werden. Bei leichten Nutzfahrzeugen trägt ferner ein knapp 30%iger Anteil an Plug-In-Hybridfahrzeugen zur deutlichen Effizienzsteigerung bei. Der 25-Meter-Lkw wird bis 2030 rund 20 000 mal neu zugelassen. Insgesamt führen die im Klimaschutzszenario implementierten Maßnahmen zu einer Dämpfung des bis 2030 erwarteten weiteren Anstiegs der Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr. Zudem fördern verbesserte Schnittstellen zwischen den Verkehrsträgern eine Verlagerung zur Schiene (+138% im Vergleich zu 2005) und zum Binnenschiff (+46% im Vergleich zu 2005). Dennoch steigt die Verkehrsleistung auf der Straße auch im Klimaschutzszenario weiter an (+73% im Vergleich zu 2005).

#### Ökonomische Effekte

Die Maßnahmen des Klimaschutzszenarios beeinflussen die Verkehrsnachfrage und das Angebot direkt und andere Teile der Wirtschaft, die im Zusammenhang mit dem Verkehrssektor stehen, indirekt. In diesem Kontext liefert das ökonomische Modell ASTRA-D Erkenntnisse zu den ökonomischen Effekten der Klimaschutzmaßnahmen im Vergleich zum Basisszenario. Die Ausgaben der Haushalte für Mobilität ändern sich im Klimaschutzszenario durch eine veränderte Mobilitätsnachfrage und Kostenstruktur der Verkehrsmittelnutzung. Bezogen auf den motorisierten Individualverkehr reduzieren die geringere Pkw-Nutzung und die zunehmende Beschaffung effizienterer Pkw die

**Abbildung 2**  
Veränderung der Verkehrsindikatoren im Klimaschutzscenario gegenüber dem Basisszenario



Quelle: eigene Berechnung.

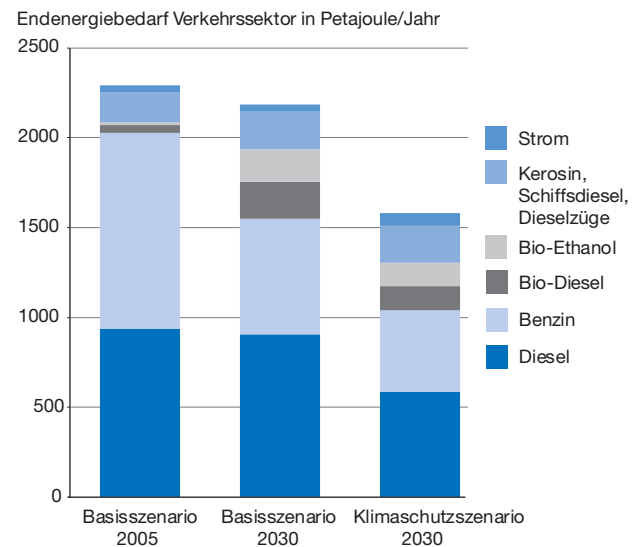
Kraftstoff- und Wartungsausgaben gegenüber dem Basisszenario, erhöhen aber auch die Pkw-Anschaffungskosten bis 2030. Demgegenüber wird der Öffentliche Verkehr zunehmend genutzt, was die Konsumausgaben entsprechend verschiebt. Insgesamt sinken die Mobilitätsausgaben der Haushalte gegenüber dem Basisszenario; allerdings nur unter Nichtberücksichtigung der erhöhten verkehrsbezogenen Steuern (vgl. Abbildung 2).

Die Staatseinnahmen profitieren insbesondere durch die deutliche Erhöhung der Kraftstoffsteuer sowie die Ausweitung der Lkw-Maut im Klimaschutzscenario und steigen gegenüber dem Basisszenario 2030 um knapp 40 Mrd. Euro an. Gesamtwirtschaftlich führen die Klimaschutzmaßnahmen zu einem, wenn auch moderaten, zusätzlichen Wachstumsimpuls, der zu einem leicht erhöhten Wachstum des Bruttoinlandsprodukts im Betrachtungszeitraum führt. Allerdings ist die Beschäftigungswirkung durch sektorale Verschiebungen im Klimaschutzscenario leicht negativ.

#### Endenergiebedarf und Treibhausgasemissionen

Obwohl die Verkehrsleistung weiter steigt, reduziert sich der Endenergiebedarf bis 2030 bereits im Basisszenario um etwa 4,5% – insbesondere durch die fortschreitende technische Effizienzentwicklung (vgl. Abbildung 3). Eine substantielle Minderung des Energiebedarfs gegenüber 2005 um 31% bis 2030 (bzw. 14% bis 2020) kann jedoch erst durch das Maßnahmenbündel des Klimaschutzscenario mit der damit verbundenen Verringerung der Verkehrsleistung und Verlagerung auf energieeffizientere Verkehrsmittel erreicht werden. Dies bedeutet eine Verringerung des Energieeinsatzes im Verkehr um etwa 710 Petajoule oder rechnerisch rund 20 Mio. Liter Dieselmotorkraftstoff. Gegenüber dem

**Abbildung 3**  
Entwicklung des Endenergiebedarfs im Verkehr



Quelle: eigene Berechnung.

Ausgangsjahr 2005 reduziert sich der Anteil konventioneller mineralölbasierter Flüssigkraftstoffe zugunsten alternativer Kraftstoffe im Klimaschutzscenario von 96% auf etwa 79%.

Durch den zunehmenden Einsatz CO<sub>2</sub>-armer Kraftstoffe kann im Basisszenario eine über die erzielte Energieeinsparung hinausgehende Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um etwa 12% (26 Mio. t) bis 2030 erreicht werden. Im Klimaschutzscenario können durch das Maßnahmenbündel die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs von 226 Mio. t im Jahr 2005 auf 142 Mio. t im Jahr 2030 gesenkt werden (-37%). Dabei zeigen Personen- und Güterverkehr jedoch eine sehr unterschiedliche Dynamik: Können die Treibhausgasemissionen im Personenverkehr bis 2030 nahezu halbiert werden, erreicht der Güterverkehr durch den weiteren Anstieg der Verkehrsleistung im selben Zeitraum nur eine Minderung um 15%, obwohl die spezifischen Emissionen pro Tonnenkilometer gleichzeitig um mehr als die Hälfte reduziert werden.

#### Fazit

Aus den Ergebnissen des Forschungsprojektes Renewability II folgt, dass eine substantielle Minderung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs in Zukunft deutlich ambitioniertere Maßnahmen im Verkehr notwendig macht, deren Ausgestaltung einem ganzheitlichen Ansatz folgt und hierbei Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Maßnahmen und Rahmenbedingungen berücksichtigt. Das Projekt Renewability II versteht sich in diesem Kontext als fachlicher Beitrag zur weiteren Diskussion über mögliche Entwicklungspfade hin zu einem klimaverträglicheren Verkehr in Deutschland.