

## „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“ – Ergebnisse des UFOPLAN-Vorhabens 3712 45 100 des Umweltbundesamtes<sup>1</sup>

### Was möchte die Studie „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“?

Es ist das Ziel der deutschen Bundesregierung, die Treibhausgasemissionen über alle Sektoren bis 2050 um 80 bis 95 % gegenüber 1990 zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, muss der Verkehrssektor einen angemessenen Beitrag leisten. Wie hoch dieser Beitrag sein muss, wie er konkret aussehen kann und welche Handlungsoptionen sich daraus ableiten, wurde in dieser Studie untersucht. Dazu wurden Klimaschutzszenarien für den Verkehr bis zum Jahr 2050 entwickelt. Damit wird insbesondere die Wirkung von Vermeidungs- und Verlagerungsmaßnahmen untersucht und die zusätzliche Minderung gegenüber einem Referenzszenario mit Schwerpunkt auf Effizienzmaßnahmen ermittelt. Auch wenn diese Minderungsziele nur für den nationalen Verkehr angesetzt werden können, wurden in der Studie auch der internationale Flug- und Schiffsverkehr berücksichtigt.

### 1. „Verkehrswende“ und „Energiewende“

Die Verkehrsleistung in Deutschland ist in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen, der Anteil des Schienenverkehrs an der Verkehrsleistung hat sich verringert – eine schwere Aufgabe für eine einschneidende Verminderung des Endenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emissionen des Verkehrs.

Als „**Verkehrswende**“ werden die Maßnahmen und Effekte der Verkehrsvermeidung, der Verkehrsverlagerung und der Verbesserung der Effizienz bezeichnet. Letzteres reicht z.B. von besseren Auslastungsgraden der Fahrzeuge über energetisch sparsamere Fahrweise bis hin zu energieeffizienteren Fahrzeugen.

Als „**Energiewende**“ wird die Ablösung der Kohlenstoff-basierten fossilen Energieträger durch Kohlenstoff-freie oder zumindest -arme Energieträger bezeichnet. Dabei müssen die Erdölprodukte im Verkehr – wo immer möglich – durch die direkte Nutzung von Strom ersetzt werden, der zu möglichst hohen Anteilen aus Erneuerbaren Energien stammt. Das bedeutet die Ablösung der Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren.

Verkehrsträger die nicht direkt elektrifiziert werden können (wie z.B. im Flugverkehr) müssen mit Energieträgern wie synthetischen Kraftstoffen oder Wasserstoff betrieben werden, die aus Erneuerbaren Energien, vorzugsweise regenerativem Strom, hergestellt werden.

### 2. „Referenzszenario“ und „Klimaschutzszenario“

Mit den Handlungsansätzen der Verkehrs- und Energiewende wurden in dieser Studie Szenarien entwickelt, um zu beschreiben, in welcher Höhe Treibhausgaseinsparungen im Verkehr bis 2050 möglich sind.

Das **Referenzszenario** schreibt heute absehbare Entwicklungen der Verkehrsleistung, deren Verteilung auf verschiedene Verkehrsträger (Modal Split) sowie begonnene verkehrliche Einsparbemühungen fort. Vor allem enthält es die Effizienzgewinne aus der technischen Verbesserung der Fahrzeuge und Antriebe und deren zunehmenden Einsatz in der Fahrzeugflotte bis 2050. Damit wird z.B. angenommen, dass im Jahr 2050 rund 37 % der Fahrleistungen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen elektrisch erbracht werden und von der Umstellung des Stroms auf treibhausgasneutrale Energien profitieren. Somit reflektiert das Referenzszenario bereits erste Elemente einer **Energiewende im Verkehr**, wofür auch entsprechende gesetzliche und verkehrliche Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen.

Das **Klimaschutzszenario** baut auf dem Referenzszenario auf. Es erschließt zusätzliche Optionen einer **Verkehrswende** durch Vermeiden, Verlagern und Verbessern der Verkehre. Darüber hinaus wird eine Energiewende im Verkehr vollständig umgesetzt: Neben Elektromobilität werden nahezu alle konventionellen Kraftstoffe durch regenerativ erzeugte Kraftstoffe wie Power-to-Gas

## „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“

(PtG, insbesondere bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen) und Power-to-Liquid (PtL, insbesondere bei schweren Lkw und Flugzeugen) ersetzt, was zu weiteren, deutlich reduzierten Treibhausgasemissionen führt.

In der Variante **Klimaschutzszenario E+** werden zudem eine schnellere Einführung der Elektromobilität beim Pkw und die Umstellung eines großen Anteils des Straßengüterfernverkehrs auf Oberleitungs-Hybrid-Lkw modelliert.

### 3. Die wichtigsten Ergebnisse der Szenarien

Das **Referenzszenario 2050** erwartet im Güterverkehr einen hohen Anstieg der Verkehrsleistung um rund 75 % gegenüber 2005. Gleichzeitig könnte sich die Verkehrsleistung des gesamten Personenverkehrs im Jahr 2050 nach zwischenzeitlichem Anstieg in etwa auf dem Niveau von 2005 einpendeln.

Trotz dieser Zunahmen geht infolge der Maßnahmen und Effekte einer Energiewende der Endenergieverbrauch des Inlandsverkehrs bis 2050 um 36 % (bezogen auf 2005)<sup>2</sup> zurück. Die direkten Treibhausgasemissionen nehmen dabei gegenüber 1990 um 42 % ab. Die Berücksichtigung der internationalen Verkehre mindert die Einsparungen: Nur noch 24 % Reduktion beim Endenergieverbrauch, 22 % bei den Treibhausgasen und praktisch keine Minderung mehr, wenn die erhöhte Treibhausgaswirkung des Flugverkehrs in Form des „Emission Weighting Factor“ (EWF) einberechnet wird (Abb. 1)

Das **Klimaschutzszenario** geht zusätzlich von einer umfassenden Verkehrswende aus. Danach nehmen die Fahrleistungen im Personenverkehr auf der Straße bis ins Jahr 2050 um rund 35 % ab. Im Güterverkehr werden gegenüber dem Referenzszenario mit geeigneten Maßnahmen eine

etwas geringere Verkehrsleistung und eine deutliche Verlagerung hin zur Schiene erreicht. Dadurch geht der Endenergiebedarf des inländischen Verkehrs bis 2050 gegenüber 2005 um 53 % zurück. Auch hier wirken sich die internationalen Verkehre negativ aus: Die Einsparung an Endenergie im Gesamtverkehr beträgt nur 40 %.

Tabelle 1: Übersicht der Minderungen bis 2050

| Szenario    | Endenergie ggü. 2005 | Treibhausgase ggü. 1990 |
|-------------|----------------------|-------------------------|
| Referenz    | -36% (-24%)          | -42% (-22%)             |
| Klimaschutz | -53% (-40%)          | -98% (-81%)             |

In Klammern: inkl. internationalem Verkehr und EWF

Mit den Bedingungen der Variante **Klimaschutzszenario E+** (mehr Elektromobilität beim Pkw, Oberleitungs-Hybrid-Lkw im Straßengüterfernverkehr) lässt sich eine zusätzliche Minderung des Endenergiebedarfs von 6 % für den nationalen Verkehr und 4 % für den Gesamtverkehr erreichen. Der wichtigste Effekt im Klimaschutzszenario E+ ist allerdings der deutlich reduzierte Bedarf an EE-Strom für die Erzeugung von strombasierten Kraftstoffen.

Die hohe Bedeutung der **Kombination von Energie- und Verkehrswende in dem Klimaschutzszenario** zeigt sich in der sehr hohen Minderung der gesamten Treibhausgasemissionen: Sie sinken ab 2030 drastisch ab und liegen in 2050 mehr als 95 % unter dem Basisjahr 1990 (Inlandsverkehr). Ein Teil der verbleibenden Emissionen stammt aus der direkten Verbrennung, ein anderer aus der noch nicht gänzlich treibhausgasneutralen Stromerzeugung. Auch hier verschlechtert wiederum der Flugverkehr die Bilanz. Unter Berücksichtigung der höheren Treibhausgaswirksamkeit (EWF) liegt die Treibhausgasminderung des Gesamtverkehrs hier bei 81 %.

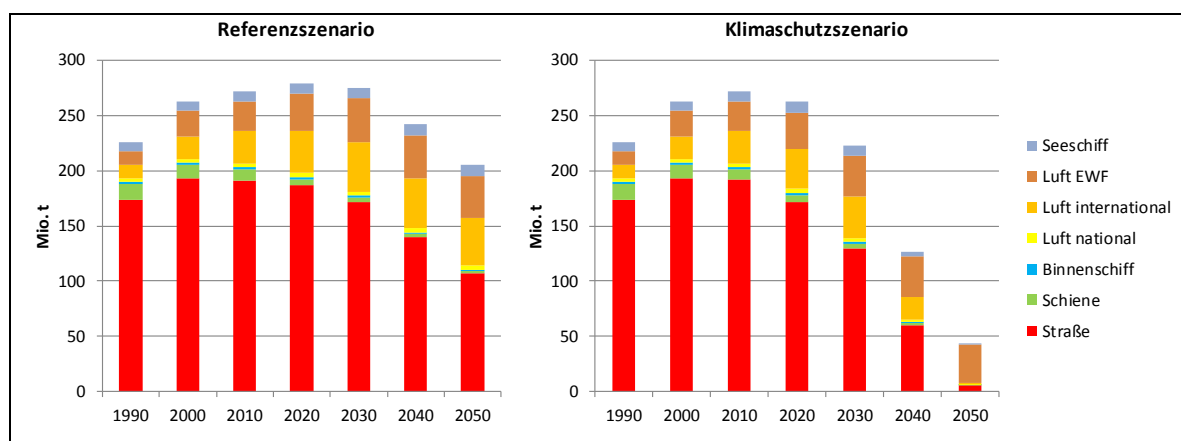
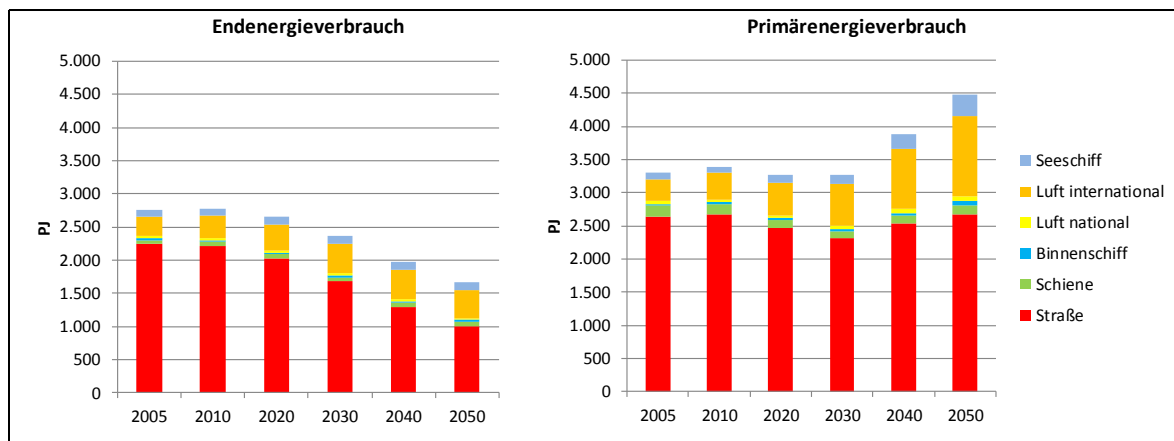


Abb. 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen (WtW<sup>3</sup>) im Referenz- und Klimaschutzszenario (Deutschland 1990 bis 2050 inkl. der internationalen Verkehre)

## „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“



**Abb. 2: Entwicklung des Endenergieverbrauchs (TtW<sup>4</sup>) und Primärenergieverbrauchs (WtW) im Klimaschutzscenario (Deutschland 1990 bis 2050 inkl. der internationalen Verkehre)**

Die **Primärenergiebilanz** des Klimaschutzscenarios zeigt aber auch Probleme auf: Die aus regenerativem Strom erzeugten Kraftstoffe PtG und PtL sind nur mit hohen Energieverlusten zu produzieren. So steigt der Primärenergieverbrauch im Klimaschutzscenario 2050 gegenüber 2005 um 36 % (Gesamtverkehr). Das Dilemma lautet somit: Die 95 %ige Treibhausgaseinsparung dieses Szenarios hängt wesentlich von der Substitution konventioneller durch erneuerbare Kraftstoffe ab. Deren Herstellung benötigt große Mengen erneuerbaren Stroms, der in dieser Menge und unter Wirtschaftlichkeitserwägungen inländisch nicht zur Verfügung steht. Insbesondere PtL müsste damit zukünftig wie heute Rohöl importiert werden (Abb. 2).

#### 4. Die Minderungseffekte im Güterverkehr basieren auch auf nichttechnischen Maßnahmen

Der Güterverkehr wurde für das Klimaschutzscenario 2050 ausführlich auf die möglichen verkehrlichen Wirkungen der nichttechnischen Maßnahmen hin untersucht. Da das reine Vermeidungspotenzial angesichts der strukturellen Rahmenbedingungen als nur sehr gering einzustufen ist, lag der Schwerpunkt der Untersuchung in Maßnahmen zur Verkehrsmittelwahl (Verlagerung) und der optimierten Transportabwicklung (kürzere Wege, höhere Auslastung). In den Berechnungen mit dem für diese Studie extra entwickelten Wirkungsmodell stellten sich Maßnahmen für innerdeutsche und internationale Verkehre über weite Entfernungen als sehr wirkungsvoll heraus, da hier die Bahn bei entsprechenden Kapazitäten (Trassen, Knoten, Umschlagsanlagen) sowie zugehörigen technologischen Verbesserungen (Rollmaterial, Zugsteuerung) wirtschaftlich konkurrenzfähig sein kann.

Insgesamt wurde für das Klimaschutzscenario 2050 eine gegenüber dem Referenzscenario um 6 % reduzierte Gesamtverkehrsleistung berechnet. Dabei könnte mit Verlagerungsmaßnahmen ein zusätzliches Frachtpotenzial für die Bahn in Höhe von 259 Mio. Tonnen bzw. 52 % gegenüber dem Referenzscenario erschlossen werden. Zusammen mit den Transportweiten-relevanten Optimierungsmaßnahmen würde dann die Verkehrsleistung auf der Straße gegenüber dem Referenzscenario im Jahr 2050 um 23 % zurückgehen.

#### 5. Welchen Beitrag zu einer deutlichen Minderung der Treibhausgase bis 2050 muss der Verkehrsbereich nun leisten?

Nach heutiger Kenntnis bleibt auch in den nächsten Jahrzehnten ein Sockelbetrag an klimarelevanten Emissionen, die nicht vermeidbar sind – das sind Emissionen aus der Landwirtschaft (z.B. Methan, Lachgas) und bei bestimmten industriellen Prozessen. Sollen die Vereinbarungen des Pariser Klimaabkommens erfüllt werden, führt langfristig kein Weg daran vorbei, dass Deutschland seine Treibhausgasemissionen sektorübergreifend um 95 % senkt. Der Verkehr muss daher langfristig treibhausgasneutral werden.

Die Szenarienergebnisse zeigen, dass der Weg zu einem nahezu treibhausgasneutralen Verkehr möglich ist. Dazu ist der Einsatz von aus regenerativem Strom hergestellten PtG-/PtL-Kraftstoffen für nicht direkt elektrifizierbare Verkehre notwendig. Allerdings lässt der Einsatz von erneuerbaren Kraftstoffen den Bedarf an erneuerbarem Strom für den Verkehr stark ansteigen. Da zudem diese Kraftstoffe teurer sein werden als konventionelle Kraftstoffe heute, ist die Senkung des Endenergieverbrauchs des Verkehrs zentral.

## „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050“

Das im Energiekonzept der Bundesregierung für den Verkehr festgelegte **Endenergieziel** von minus 40 % (2050 zu 2005) erfordert bereits eine konsequente Minderungsstrategie, reicht aber bei einem sektorübergreifenden Minderungsziel der Treibhausgasemissionen von 95 % (2050 zu 1990) möglicherweise nicht aus. Das hier formulierte und berechnete Klimaschutzszenario zeigt, dass mit ambitioniert-realistischen Maßnahmen über 50 % Endenergieverbrauchsreduzierung im nationalen Verkehr möglich sind. Sind langfristig nur geringe Mengen treibhausgasneutraler Kraftstoffe verfügbar, muss der Verkehrsbereich mehr Endenergie einsparen.

Schärfere Endenergieziele erfordern dabei noch höhere Anstrengungen, wie das Klimaschutzszenario E+ zeigt. Dann muss z.B. die Elektromobilität – das schließt Plug-in-Hybride, Elektrofahrzeuge mit Range-Extender und Oberleitungen für den Straßengüterverkehr ein – noch schneller und umfassender zum Einsatz kommen.

Bei der deutschen Zielwertdiskussion werden die internationalen Verkehre (Flugverkehr, Seeschifffahrt) und höhere Klimawirksamkeit der Luftverkehrsemissionen in großen Höhen bisher nicht berücksichtigt. Aufgrund des begrenzten nationalen Einflusses auf diese Emissionen sind hier Ziele bevorzugt in internationalen Gremien (ICAO, IMO) zu erarbeiten. Werden diese Verkehre in den Verkehrsberechnungen berücksichtigt, können selbst im ambitionierten Klimaschutzszenario E+ in 2050 nur maximale Minderungsraten von rund 80 % erreicht werden.

### 6. Was ist zu tun?

Diese Studie zeigt, dass der inländische Verkehrssektor bis 2050 eine Treibhausgasreduzierung von über 95 % beisteuern kann und damit nahezu treibhausgasneutral wird, wenn die Möglichkeiten der Verkehrs- und Energiewende konsequent ausgenutzt werden. Es ist daher zentral, dass diese mit großem Nachdruck vorangetrieben wird – eben weil die Herausforderungen groß und die verbleibende Zeit bis 2050 demgegenüber kurz sind.

Der Weg zu dem ambitionierten Klimaschutzziel für 2050 braucht frühzeitigen Beginn und anspruchsvolle Zwischenschritte, da sowohl für die Durchdringung der Flotte mit alternativen Antrieben, als auch für den Bau neuer Infrastruktur (z.B. Ladeinfrastruktur, Schienennetz) lange Vorlaufzeiten einzuplanen sind. Ohne den schnellen Ausbau der Elektromobilität, inklusive der erneuerbaren Energieträger, und einer konsequenten Ausrichtung der verkehrspolitischen Weichenstel-

lungen an den Erfordernissen der Verkehrswende wird daher langfristig keine Treibhausgasneutralität im Verkehr möglich sein.

Die Energiewende im Verkehr hat sich dabei auch an der Verfügbarkeit erneuerbarer Energieträger zu orientieren. Verkehre mit der Möglichkeit der direkten Nutzung erneuerbarer Energien können dabei ihre Klimagasemissionen schneller und preisgünstiger senken als die kraftstoffabhängigen Systeme. Daher sind zunächst der Ausbau der erneuerbaren Energien und die Verkehrswende voranzutreiben, um die Voraussetzungen für einen langfristig treibhausgasneutralen Verkehr zu schaffen. Gleichzeitig sind die Techniken für die Erzeugung entsprechender Mengen erneuerbarer Kraftstoffe marktreif zu entwickeln.

Zentrale Elemente für eine Verkehrs- und Energiewende sind daher:

- Anreize zur Steigerung der Energieeffizienz (z.B. über CO<sub>2</sub>- und Energieverbrauchs-Flottenwerte für Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge),
- Anreize zur Umschichtung des Fahrzeugbestands zu strombasierten Antriebssystemen sowie zur Schaffung der entsprechenden Ladeinfrastruktur,
- Maßnahmen zur Vermeidung, Verlagerung und zur effizienteren Verkehrsabwicklung einschließlich des Ausbaus der notwendigen Verkehrsinfrastruktur,
- Umbau des Energiesystems auf erneuerbaren Strom und strombasierte Kraftstoffe.

Zudem sind die nationalen Aktivitäten in den internationalen Rahmen einzubetten. Dies betrifft insbesondere die Energie- und Verkehrswende bei den internationalen Verkehren, die Erzeugung erneuerbarer Kraftstoffe sowie die Technikentwicklung.

---

<sup>1</sup> Knörr, W. et al. (ifeu Heidelberg, INFRAS Bern, LBST München) (2016): Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050; im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 56/2016, Dessau-Roßlau.  
<<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutzbeitrag-des-verkehrs-bis-2050>>

<sup>2</sup> Für die Minderungsziele wurden in den internationalen Vereinbarungen unterschiedliche Basisjahre festgelegt: für die Treibhausgasziele 1990, für die Energieziele 2005

<sup>3</sup> WtW: Well-to-Wheel (Energieverbrauch und Emissionen der Energiebereitstellung und der Fahrzeuge)

<sup>4</sup> TtW: Tank-to-Wheel (Energieverbrauch und Emissionen der Fahrzeuge)