

Entwicklung der Nutzfahrzeugflotte und deren CO₂-Emissionen im Straßengüterverkehr in Deutschland bis zum Jahr 2030

Dipl.-Volksw. Gunnar Knitschky, Dipl.-Ing. Andreas Lischke,
Dipl.-Ing. Stephan Müller

Zusammenfassung

Im Rahmen der präsentierten Ergebnisse wird – basierend auf einer deutschlandweiten Modellierung der Fahrleistung im Straßengüterverkehr und der Entwicklung der Nutzfahrzeugflotte – die zukünftige Situation im Straßengüterverkehr analysiert. Anhand eines Trend- und eines Alternativszenarios werden die zu erwartende technische Entwicklung der Nutzfahrzeugflotte bis zum Jahr 2030 sowie Kraftstoffeinsparpotenziale und die Verbreitung alternativer Antriebe im Jahr 2030 beschrieben. Hieraus folgt eine Abschätzung der Veränderungen der durchschnittlichen Kraftstoffverbräuche der Fahrzeugklassen im Straßengüterverkehr. Abschließend zeigt eine Berechnung, unter Berücksichtigung alternativer Antriebe und Biokraftstoffe, die daraus resultierenden CO₂-Emissionen im Straßengüterverkehr auf.

1 Entwicklung der Nutzfahrzeugflotte in Deutschland

In den 1990er Jahren startete die Europäische Kommission das sogenannte Auto-Öl-Programm. Ziel war es, die kostenwirksamsten Möglichkeiten zur Einhaltung bestimmter Luftqualitätsziele zu ermitteln. ([EU00]). Mit der Europäischen Kraftstoffrichtlinie

98/70/EG über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren sowie mit der Einführung von Abgasgrenzwerten (Euro-Normen) für Nutzfahrzeuge und deren Fortschreibung in verschiedenen Stufen wurde danach der spezifische Ausstoß von Luftschadstoffen in den einzelnen Fahrzeugklassen (vgl. Abbildung 1) erheblich reduziert.






	Fahrzeugtyp	zulässiges Gesamtgewicht	typisches Einsatzgebiet	Bestand	Flottenanteil
	leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	bis unter 3,5t	Dienstleistungs- und Lieferfahrzeug	1.802.557	71,4%
	leichte Lkw	ab 3,5 bis unter 7,5t	Auslieferung im Nahverkehr	284.924	11,3%
	schwere, nicht-mautpflichtige Lkw	ab 7,5 bis unter 12t	Auslieferung im Regionalverkehr, Transport von	67.049	2,7%
	schwere Lkw	ab 12 t	Als Motorwagen eines Gliederzuges, Baustellenverkehre	192.144	7,6%
	Sattelzugmaschinen (SZM)	in der Regel bis 40 t oder 44 t	Güterfernverkehr	176.883	7,0%

Abbildung 1: Fahrzeugklassen und Fahrzeugbestand am 1. Januar 2010, ([KBAa])

1.1 Betrachtung der einzelnen Nutzfahrzeugklassen

Am 1. Januar 2010 betrug der gesamte Fahrzeugbestand gut 2,5 Mio. Nutzfahrzeuge¹ – ohne die sonstigen Fahrzeuge. Bis 2002 hat der Fahrzeugbestand ständig zugenommen; seitdem sind die Bestandszahlen nur noch leicht angestiegen. Zur Jahreswende 2007/08 weist die Bestandsstatistik aufgrund einer veränderten Zählsystematik einen Bruch auf. Vorübergehende Stilllegungen und Außerbetriebsetzungen am Stichtag werden nicht mehr zum Bestand gerechnet; dieser wird hierdurch bis zu 12 % niedriger ausgewiesen. ([KBA08, Bor09]). Werden die Werte zur Vergleichbarkeit auf Basis der alten Systematik fortgeschrieben, ergeben sich für 2010 knapp 2,9 Mio. Nutzfahrzeuge (vgl. Abbildung 2). Der Gesamtbestand an Nutzfahrzeugen hat sich in den vergangenen 20 Jahren – nach bisheriger Zählweise – von etwa 1,5 Mio. Fahrzeugen auf annähernd 3 Mio. fast verdoppelt. Mit mehr als einer Verdopplung auf

¹ Gesamtbestand am 1. Januar 2011: 2.619.427 Fahrzeuge (2.441.377 Lkw und 178.050 Sattelzugmaschinen). Eine Aufschlüsselung nach Größenklassen liegt noch nicht vor.

ca. 1,8 Mio. Einheiten seit 1990 haben sich die leichten Nutzfahrzeuge am dynamischsten entwickelt und stellen den größten Anteil der Flotte (72 %). Der Bestand leichter Lkw über 3,5 bis 7,5 Tonnen sinkt seit 2001, sodass sie nur noch 11 % des Bestandes ausmachen. Diese Größenklasse, lange Jahre das klassische Auslieferungsfahrzeug, wird zunehmend durch die leichten Nutzfahrzeuge verdrängt, die aufgrund anderer Regelungen der Höchstgeschwindigkeit, Führerscheinklasse sowie Lenk- und Ruhezeiten als effizienter und flexibler gelten.

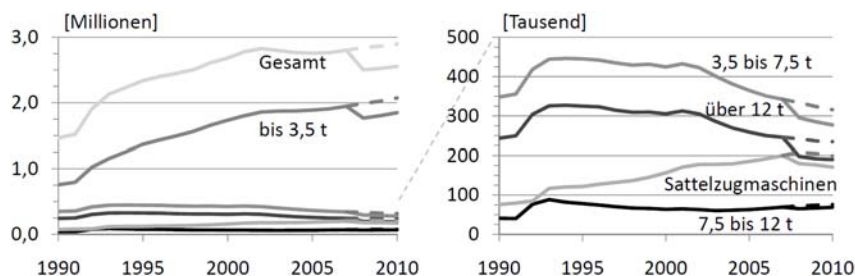


Abbildung 2: Entwicklung des Bestandes von Lkw und Sattelzugmaschinen (ab 2007 veränderte Zählsystematik), ((KBAa))

Die kleinste Nutzfahrzeugklasse (3 %) bilden die nicht mautpflichtigen schweren Lkw bis 12 Tonnen. Sie sind nur für ausgewählte Güter einsetzbar und erreichen nicht die Einsatzflexibilität und Effizienz von Glieder- und Sattelzügen. Seit 2004 steigt ihre Anzahl wieder an, zu einem großen Teil hervorgerufen durch die Mautfreiheit der Fahrzeuge. Mit jeweils rund 7 % sind die im Gliederzug oder als Solofahrzeug eingesetzten schweren Lkw über 12 Tonnen und Sattelzugmaschinen in etwa gleich stark vertreten. Nach einem Höchststand 1994 hat sich der Bestand der schweren Lkw ab 2001 um rund ein Viertel reduziert. Der Einsatz in Gliederzügen ist in anderen europäischen Ländern unüblich. Ein Grund dürfte deshalb in der nur mit Sattelzügen zu bewältigenden Containerisierung des Verkehrs liegen. Der Bestand an Sattelzugmaschinen hat sich seit Anfang der 1990er Jahre fast verdoppelt und nimmt weiterhin zu. Die Sattelzugmaschinen nehmen damit den Hauptanteil am Wachstum der Transportleistung im Straßengüterverkehr auf. Als Hauptträger des grenzüberschreitenden Straßentransports müssen sie darüber hinaus als Teil der europäischen Fahrzeugflotte für den internationalen Güterverkehr gesehen werden.

Das Durchschnittsalter der Lkw hat seit Mitte der 1990er von 6,5 auf 7,5 Jahre für 2009 stetig zugenommen. Das Durchschnittsalter der Sattelzugmaschinen ist hingegen gesunken von über 5 auf 4,4 Jahre (2007) bzw. bedingt durch die Statistikumstellung auf unter 4 Jahre. Insbesondere durch Außerbetriebsetzungen der Fahrzeuge mit einem Alter von über 5 Jahren, erfolgte eine weitere „Verjüngung“ der Fahrzeuge auf 3,8 Jahre. Verstärkt wurde dieser Effekt durch die Spreizung der schadstoffklassenabhängigen Lkw-Maut.

Bei Betrachtung der Altersstrukturentwicklung des Fahrzeugbestands zeigt sich ein wachsender Anteil von überdurchschnittlich alten Fahrzeugen in der Klasse der leichten Lkw bis 7,5 Tonnen. Gut 40 % der Fahrzeuge sind demnach zehn Jahre und älter und heben den gesamten Altersdurchschnitt dieser Fahrzeugklasse. Mit 7,5 % Erneuerung pro Jahr findet hier nur in einem sehr geringen Teil des Bestands eine kontinuierliche Flottenerneuerung statt. Dagegen erneuert sich der Bestand der Sattelzugmaschinen jährlich zu mehr als einem Fünftel.

Wird die Entwicklung des Gesamtbestands auf Basis der Vergangenheitswerte von 1992 bis 2010 in die Zukunft extrapoliert, ergeben sich für 2030 nach bisheriger Zählung etwa 3 Mio., nach neuer Systematik 2,7 Mio. Fahrzeuge und damit ein geringfügig höherer Bestand gegenüber heute.

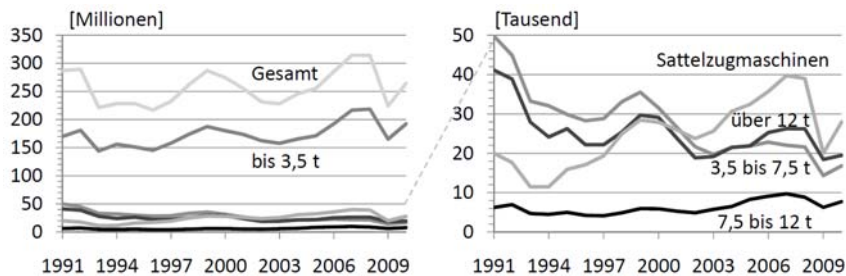


Abbildung 3: Entwicklung der Neuzulassungen von Lkw und Sattelzugmaschinen (KBAb)

Die Neuzulassungen sind geprägt von fortlaufenden Zyklen ca. zehnjähriger Dauer. Die letzten Hochpunkte lagen in den Jahren 1991/92, 1999 und 2007. Seit Anfang der 1990er Jahre schwankt die Zahl der tendenziell steigenden Neuzulassungen – mit Ausschlägen von bis zu 90.000 Einheiten – zwischen 200 und 315 Tsd. Fahrzeugen pro Jahr

besonders stark (vgl. Abbildung 3). Der Verlauf aller Neuzulassungen wird auch hier durch die leichten Nutzfahrzeuge bestimmt. Während die Zahlen der leichten Lkw bis 7,5 Tonnen und der schweren Lkw über 12 Tonnen in zyklischen Bewegungen tendenziell abnehmen, nehmen sowohl die nicht mautpflichtigen Lkw über 7,5 bis 12 Tonnen als auch die Sattelzüge in derselben Form zu.

Im Jahr 2009 führte die Finanz- und Wirtschaftskrise zu einem Einbruch des Neuzulassungsniveaus über alle Fahrzeugklassen um historische 28,7 %.

Langfristig werden die durchschnittlichen Neuzulassungen voraussichtlich auf über 300 Tsd. Fahrzeuge ansteigen. Dabei werden die jährlichen Neuzulassungszahlen weiter stark schwanken. Es ist davon auszugehen, dass leichte Nutzfahrzeuge auch künftig die klassischen Nahverkehrs-Lkw bis 7,5 Tonnen weiter ersetzen werden; ebenfalls verdrängt werden die Gliederzüge von den Sattelzügen.

1.2 Entwicklung von Luftschadstoffemissionen und des spezifischen Kraftstoffverbrauchs

Das Thema Luftreinhaltung und Verringerung der CO₂-Emissionen gehört seit Jahren zu den Hauptfeldern der nationalen und europäischen Umweltpolitik; beschrieben im aktuellen Umweltaktionsprogramm 2002-2012 der EU. ([UBA09a]).

Schadstoffklasse	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	EEV	Euro VI	Rückgang
gültig seit:	1993	1996	2001	2006	2008	2000	2012	(1993 bis 2012)
CO	4,5	4	2,1	1,5	1,5	1,5	1,5	67%
HC	1,1	1,1	0,66	0,46	0,46	0,25	0,13	88%
PM₁₀	0,36	0,15	0,1	0,02	0,02	0,02	0,01	97%
NO_x	8	7	5	3,5	2	2	0,4	95%

Abbildung 4: Normgrenzwerte der Schadstoffklassen für Lkw und Sattelzugmaschinen ab 3,5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht in g/kWh ([Uba09b])

Abgasgrenzwerte für Nutzfahrzeuge werden für die verschiedenen Fahrzeugklassen seit etwa zwei Jahrzehnten vorgegeben. Inzwischen erfolgte eine beträchtliche Verringerung der emittierten fahrzeugspezifischen Luftschadstoffe, wie das Beispiel der Lkw über 3,5

Tonnen und Sattelzugmaschinen in Abbildung 4 belegt. Einen Eindruck der langfristigen Entwicklungstrends des Kraftstoffverbrauchs von Nutzfahrzeugen vermittelt Abbildung 5. Die Darstellung von fahrzeugbezogenem Verbrauch und Leistung der seit 1990 in Deutschland neu zugelassenen Nutzfahrzeuge stützt sich auf regelmäßig veröffentlichte Testergebnisse der Fachzeitschrift *lastauto omnibus*. ([Las]). Sie berücksichtigen die Fahrzeugklassen der leichten Nutzfahrzeuge und Sattelzugmaschinen, da diese in sich homogenen Segmente 78 % des Fahrzeugbestandes vereinen und gemeinsam etwa 85 % der Fahrleistung im Straßengüterverkehr erbringen.

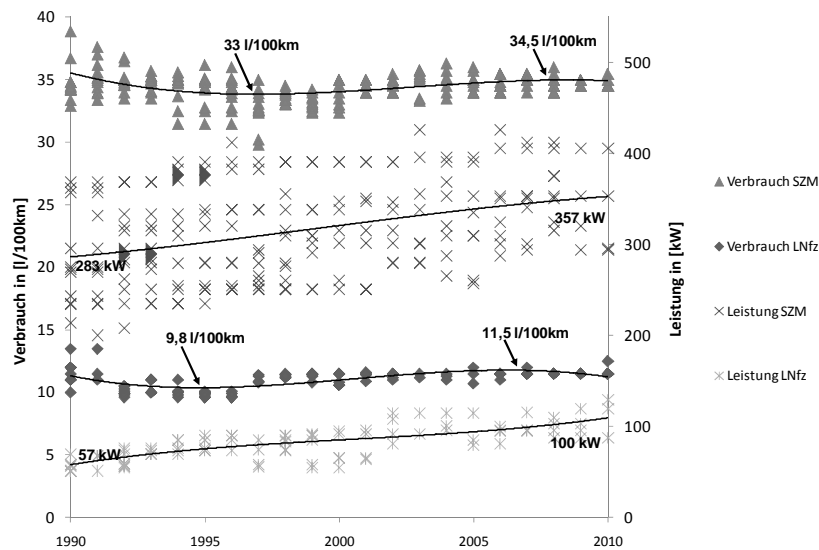


Abbildung 5: Kraftstoffverbrauch und Leistung leichter Nutzfahrzeuge und Sattelzugmaschinen von 1990 bis 2010 ([Las])

Bis Mitte der 1990er Jahre verringerte sich der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch getesteter Sattelzugmaschinen. Damit setzt sich ein Trend fort, der sich vor 1990 noch viel deutlicher zeigte. Ab Mitte der 1990er Jahre nahm der Durchschnittsverbrauch jedoch wieder zu; ab einem Minimum von 33 l/100 km im Jahre 1997 stieg er bis 2009 um mehr als einen Liter an. Eine Ursache steht möglicherweise im Zusammenhang mit den ab 1996 eingeführten Schadstoffklassen II bis IV für

schwere Lkw und Sattelzugmaschinen. Immer aufwendigere Abgasreinigungstechniken führten zu Veränderungen im Verbrennungsprozess. Zudem erforderte dieser zum Betrieb bzw. zur Abgasreinigung einen höheren Energieeinsatz. Gleichzeitig mit dem zuletzt stagnierenden Kraftstoffverbrauch der neuen Sattelzugmaschinen zeigt sich ein deutlicher Trend zu leistungstärkeren Fahrzeugen. Mehr Motorleistung ermöglicht eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge, die sich in mehr Einsatzflexibilität niederschlägt.

Die Verbrauchswerte der leichten Nutzfahrzeuge entwickeln sich zuletzt ebenfalls stagnierend. Deren Antriebe werden häufig aus der Motorenentwicklung von Pkw übernommen oder abgeleitet. Durch Turboladung und Direkteinspritzung unter hohem Druck konnten in der Vergangenheit deutliche Leistungsverbesserungen bei den Motoren erzielt werden, die auch zu einem deutlich erkennbaren Leistungszuwachs bei den getesteten Fahrzeugen führen.

2 Entwicklung der Fahrleistungen in Deutschland

Mit wenigen Ausnahmen nimmt der Straßengüterverkehr in Deutschland über mehrere Dekaden ununterbrochen zu. Im Jahre 1991 waren es noch 245 Mrd. Tonnenkilometer, die von deutschen und ausländischen Lkw im nationalen Transport, Im- und Export sowie im Transitverkehr durch Deutschland transportiert wurden. Nicht nur infolge des Erweiterungsprozesses der Europäischen Union wuchs das Transportaufkommen bis 2009 auf über 470 Mrd. Tonnenkilometer an.

Zur Bestimmung der klimarelevanten Umweltwirkungen des Straßengüterverkehrs reicht die Betrachtung der Indikatoren Verkehrsleistung und -aufkommen jedoch nicht aus. Stattdessen soll die Fahrleistung analysiert werden, deren Umfang für das Jahr 2030 über einen modelltheoretischen Ansatz prognostiziert wird.

2.1 Modellierung der Fahrleistung

Grundlage für die Fahrleistungsmodellierung ist die im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung erstellte Verkehrsprognose 2025, mit der darin enthaltenen Güterverkehrsverflechtung. ([BVU07]). Die wirtschaftlichen und soziodemografischen Rahmenbedingungen dieser Verkehrsprognose wurden bis

zum Jahr 2030 fortgeschrieben. In die Modellierung gehen alle Transporte des Straßengüterverkehrs ein, die auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland durch nationale und internationale Verkehre stattfinden. Damit beschränkt sich der Untersuchungsraum nicht nur auf Deutschland, sondern wird zur Berücksichtigung von internationalen Warenströmen, die Deutschland im Transit durchlaufen, auf Europa ausgedehnt. Im Ergebnis wird die Inlandsfahrleistung aus Last- und Leerfahrten unterschiedlicher Nutzfahrzeugklassen im Straßengüterverkehr für das Jahr 2030 bestimmt. Als Basisjahr der Modellierung dient das Jahr 2005.

Als Modellwerkzeuge werden die Software-Anwendungen VISEVA-W und VISUM der *PTV Planung Transport Verkehr AG* genutzt, für die ausführliche Dokumentationen publiziert sind. Zusätzlich bietet VISUM die Möglichkeit parallel zum Güterverkehr auch den Personenverkehr abzubilden. Nähere Erläuterungen zur Datenaufbereitung für den Untersuchungsraum Deutschland, Details zur Modellierung des Straßengüterverkehrs sowie Validierung der Vorgehensweise sind ausführlich in [Oek09] und [Mue09] dargestellt. Die einzelnen Arbeitsschritte des entwickelten Modellkonzeptes und deren Interaktion werden deshalb nur im Überblick skizziert.

Das Verkehrsverhalten wird in drei Teilmodellen parallel simuliert, um so die Tätigkeiten der Akteure diversifizieren zu können. Jedes Teilmodell verfügt über verhaltenshomogene Gruppen, die unterschiedliche Intentionen bei der Verkehrsteilnahme verfolgen und durch eigene Verhaltensmuster charakterisiert sind. Die drei Modelle decken die Fahrten der leichten Nutzfahrzeuge und separat die Ladungs- und Leerfahrten der Lkw über 3,5 Tonnen ab (vgl. Abbildung 6).

Für die Beschreibung der verhaltenshomogenen Gruppen liegen deren Verhaltensdaten in uneinheitlicher Qualität und Quantität vor. Die Fahrzeughalter aus 17 Wirtschaftszweigen – als die zu charakterisierenden Modellakteure – werden im Teilmodell der leichten Nutzfahrzeuge in acht Gruppen modelliert; die Halter der schweren Nutzfahrzeuge werden in vier Gruppen zusammengefasst. Jeder Verkehrszelle sind verkehrserzeugende Attribute (Strukturgrößen) und verkehrsanziehende Attribute (Bezugspersonen) zugeordnet, anhand derer das Verkehrsaufkommen je Zelle bestimmt wird. Die Aufkommensparameter sind in VISEVA-W festgelegt: Anzahl von Touren je Strukturgröße, Anzahl

von Stopps je Tour, Attraktion von Fahrten je Bezugspersonengruppe; sie müssen einzeln quantifiziert werden.

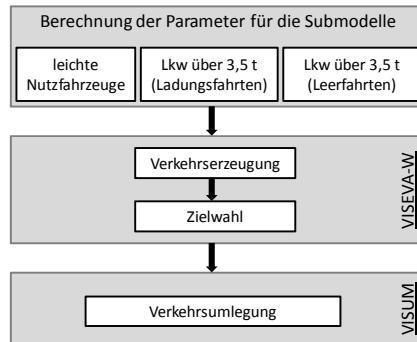


Abbildung 6: Modellstruktur und Verfahrensablauf zur Fahrleistungsmodellierung

Als Strukturgrößen der Verkehrserzeugung jedes Verkehrsbezirkes werden die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten verwendet. Für die Verkehrsattraktion jedes Verkehrsbezirkes sind als Bezugspersonen die Einwohner und die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der Halterbranche, der Verkehrsbranche sowie der übrigen Branchen implementiert. Ausgehend vom Versender eines Gutes werden damit vier mögliche Ziele einer Fahrt beschrieben. Für die Bestimmung der Zielauswahlwahrscheinlichkeit jeder Bezugspersonengruppe werden Informationen der Erhebung Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2002 – KiD ausgewertet und verwendet. ([KiD02]).

Zur Bestimmung der Zielwahl werden die Reisezeiten zwischen den Verkehrszellen bewertet und auf dieser Basis eine räumliche Interaktion abgeleitet. Für jede verhaltenshomogene Gruppe wurde dazu eine entsprechende Bewertungsfunktion durch eine weitere Auswertung der KiD gebildet, welche die Wahrscheinlichkeit beinhaltet, bestimmte Reisezeiten anzunehmen oder abzulehnen. Bei der Umlegung wird die Routenwahl der Fahrzeuge berechnet.

Als Verkehrszellen werden entsprechend der Gebietseinteilung des Kreismunicipalschlüssels für Deutschland 439 Bezirke und für jedes weitere europäische Land ein Verkehrsbezirk angebunden. Die generalisierten Kosten im Modell setzen sich zusammen aus den gewichteten Komponenten Fahrzeit und Mautkosten.

Der Indikator Fahrleistung, differenziert nach Fahrzeug- und Streckentyp, stellt die Eingangsgröße für die nachfolgende Szenarienberechnung dar. Die im Folgenden gezeigten Ergebnisse stützen sich auf eine Basisentwicklung von Rahmenbedingungen des Verkehrssystems. Sie wurden in einem Diskussionsprozess mit Experten festgelegt. Die bedeutendsten Veränderungen der Modellparameter bis zum Jahr 2030 umfassen neben den Strukturgrößen und Gruppen der Bezugspersonen, die Fahrzeugbestände, die Mobilitätskosten und die allgemeine Wirtschaftsentwicklung.

2.2 Modellergebnisse

Die Gesamtfahrleistung aller Nutzfahrzeuge im Straßengüterverkehr steigt von 69,5 Mrd. Fahrzeugkilometern im Jahre 2005 auf 117,4 Mrd. Fahrzeugkilometer in 2030 (vgl. Abbildung 7). In den einzelnen Fahrzeugklassen fällt der Anstieg unterschiedlich steil aus.

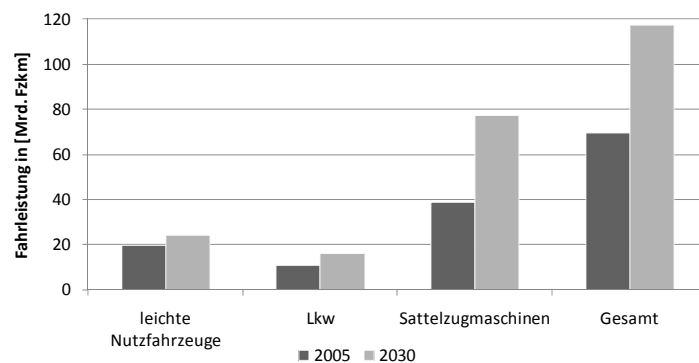


Abbildung 7: Fahrleistungsentwicklung nach Fahrzeugklassen

Bei den leichten Nutzfahrzeugen und den Lkw ab 3,5 bis 12 Tonnen ist dieser mit gut 30% im Verhältnis zum Gesamtanstieg eher moderat. Nahezu eine Verdoppelung hingegen erfahren die vom Transit- und den Seehafenverkehren getriebenen Sattelzugmaschinen.

Vor dem derzeitigen Hintergrund der Finanz- und Wirtschaftskrise ist die hier modellierte Entwicklung der Fahrleistungen kritisch zu hinterfragen. In den Vor-Krisen Jahren hat sich der Straßengüterverkehr

bereits derart dynamisch entwickelt, dass sowohl von 2006 bis 2008 als auch infolge der Entwicklung des Jahres 2010 mit einem starken Anstieg von Verkehrs- und Fahrleistungen zu rechnen ist bzw. sich diese bei anhaltendem Wirtschaftswachstum fortsetzen werden.

3 Szenarien zur Entwicklung von CO₂-Emissionen im Straßengüterverkehr in Deutschland

Die Abschätzung des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen für das Jahr 2030 erfolgt mit Hilfe von zwei Szenarien. In einem Trendszenario wird davon ausgegangen, dass das Tempo des technischen Fortschritts bei der Fahrzeugtechnik der jüngeren Vergangenheit im Wesentlichen beibehalten wird. Dagegen unterstellt das Alternativszenario, dass sich Innovation und Markteinführung neuer Antriebs-, Fahrzeug- und Kraftstofftechnologien deutlich schneller entwickeln. Hierzu reichen Innovation und technischer Fortschritt allein allerdings nicht aus. Vielmehr bedarf es zusätzlich wirtschaftspolitischer Rahmenbedingungen, um alternative Antriebe und effiziente Fahrzeugtechnologien bei einer beschleunigten Markteinführung und –durchdringung zu unterstützen.

Im Vergleich zum Alternativszenario ist das Trendszenario weniger anspruchsvoll. Dennoch verlangt es bereits umfangreiche FuE-Anstrengungen und erfordert erhebliche Investitionen in neue Fahrzeugtechnologien. Beide Szenarien gehen von einer ähnlichen technischen Weiterentwicklung der deutschen Nutzfahrzeugflotte und der in Deutschland eingesetzten ausländischen Fahrzeuge aus.

3.1 Szenarienbeschreibung

Im Trendszenario setzen sich bisherige Technologietrends kontinuierlich fort. So könnten die Komponenten Motor und Getriebe je nach Fahrzeugtyp insgesamt 8 bis 10 % Kraftstoffeinsparungen realisieren. Abhängig von der Wirtschaftlichkeit setzt sich auch im Nutzfahrzeugbereich die Elektrifizierung und Hybridisierung durch. Bezogen auf die Fahrzeugklasse und das Einsatzgebiet (Stadtverkehr, Überland- und Fernfahrten) erfolgt die Hybridisierung in unterschiedlicher Weise: Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch von leichten Nutzfahrzeugen und Lkw unter 7,5 Tonnen kann um jeweils etwa 10 % reduziert werden.

Beim Straßengüterfernverkehr mit Sattelzugmaschinen und Lkw ab 7,5 Tonnen sind die Einsparpotenziale aufgrund des Fahrprofils deutlich geringer; daher werden beim fahrzeugspezifischen Verbrauch nur 2 % weniger angenommen.

Mit Hilfe verbesserter Aerodynamik und Leichtbau lassen sich bei Lkw unter 7,5 Tonnen zusätzliche 2 % erzielen. Anders als bei der Hybridtechnologie können Sattelzugmaschinen aufgrund ihres überwiegenden Langstreckeneinsatzes hiervon mit etwa 5 % Kraftstoffeinsparung deutlich stärker profitieren. Durch Fahrertraining und unterstützende Assistenzsysteme lassen sich durchschnittliche Kraftstoffeinsparungen von ungefähr 3 % bei leichten Nutzfahrzeugen und Lkw unter 7,5 Tonnen sowie von 5 % bei Sattelzugmaschinen erreichen.

Da sich die hier genannten Einsparungen jeweils auf heutige durchschnittliche Verbrauchswerte ([Kal09]) beziehen, muss bei der Berechnung einer Gesamteinsparung berücksichtigt werden, dass diese Einspareffekte aufgrund sich überschneidender Sparpotenziale nicht addiert werden können. Deshalb ergeben sich bei den getroffenen Annahmen im Trendszenario Einsparungen von insgesamt 23 % für leichte Nutzfahrzeuge und Lkw und 19 % für Sattelzugmaschinen gegenüber dem heutigen durchschnittlichen Verbrauch (vgl. Abbildung 8).

Komponente	leichte Nutzfahrzeuge und Lkw unter 7,5 t		Sattelzugmaschinen und Lkw ab 7,5 t	
	Trend	Alternativ	Trend	Alternativ
Motor/Getriebe	8 %	10 %	10 %	10 %
Hybridisierung	10 %	20 %	2 %	5 %
Aerodynamik, Leichtbau, Leichtlaufreifen	2 %	5 %	5 %	10 %
Energiesparende Fahrweise	5 %	7 %	3 %	7 %
Summe Effizienzverbesserung	23 %	36 %	19 %	28 %
Biokraftstoffanteile	12 %	20 %	12 %	20 %
Fahrleistungsanteil CNG-Fahrzeuge	0,5 %	2 %	0 %	0,5 %
Biomethananteil im CNG	20 %	20 %	20 %	20 %
Fahrleistungsanteil an Elektromobilität	0,5 %	2,0 %	0 %	0 %
Strommix CO ₂ -Emissionen in g CO ₂ /kWh	512,9	301	512,9	301

Abbildung 8: Annahmen im Trend- und Alternativszenario

Zusätzlich lässt sich durch den Einsatz von alternativen Kraftstoffen und Antrieben der Energiemix des Straßengüterverkehrs leicht verbessern und so CO₂-Emissionen noch weiter reduzieren. Der Anteil

der Biokraftstoffe – das heute wichtigste Dieselsubstitut – entwickelt sich im Trendszenario allerdings nur moderat weiter. Biokraftstoffe, die in höheren Anteilen technisch verträglich wären bzw. ohne Fahrzeugumrüstungen kostengünstig eingesetzt werden könnten, werden nur begrenzt zur Verfügung stehen. Zudem können nicht alle Biokomponenten die immer strengeren Nachhaltigkeitskriterien erfüllen. So erreichen Biokraftstoffe eine Treibhausgasreduktion von etwa 45 % gegenüber konventionellem Diesel. ([Lah09]). Dennoch legen Biokraftstoffe im Trendszenario zu; ihr Anteil steigt auf maximal 12 %.

Neben Biokraftstoffen erzielen Erdgasfahrzeuge (CNG) weitere Marktanteile. Der Anteil der Fahrleistung von CNG-Lkw steigt bis zum Jahr 2030 auf nur 0,5 %. Für Sattelzugmaschinen spielt dieser Kraftstoff keine Rolle, da die gegenüber Dieselmotoren geringere Energiedichte häufigere Betankungen erfordert und der größere Tank das Ladevolumen reduziert. Durch eine 20 %ige Beimischung von Biogas werden die CO₂-Emissionen von CNG-Fahrzeugen nochmals um etwa 20 % gesenkt. ([Den10]). Autogas bzw. LPG spielt szenariounabhängig im Straßengüterverkehr keine nennenswerte Rolle, da die Verringerung der CO₂-Emissionen im Vergleich zu Diesel oder Benzin vernachlässigbar sind.

Parallel zur Pkw-Entwicklung steigt die Bedeutung der Elektromobilität – allerdings nur bei leichten Nutzfahrzeugen und Lkw. Auch hier bleibt die Fahrleistung, die mit leichten E-Nutzfahrzeugen und E-Lkw unter 7,5 Tonnen erbracht wird, mit 0,5 % der Güterverkehrsfahrleistung gering. Für Sattelzugmaschinen spielt diese Technik wiederum keine Rolle, da nicht zu erwarten ist, dass die notwendigen Leistungsparameter bei der Energiespeicherung erreicht werden können. Für die Berechnung der CO₂-Emission aus Fahrstrom wurden die spezifischen CO₂-Emissionen der EWI/Prognos-Energieszenarien bis 2030 – in Höhe von 513 g CO₂/kWh unterstellt. ([Ewi05]). Das Alternativszenario geht von nur 301 g CO₂/kWh aus – basierend auf einer ambitionierten Entwicklung. ([Nit08]).

Im Alternativszenario werden die im Trendszenario getroffenen Annahmen nochmals ambitionierter gestaltet, um den Kraftstoffverbrauch weiter zu reduzieren und diversifizieren und so zusätzliche CO₂-Emissionen zu verringern.

3.2 Abschätzung der CO₂-Emissionen

Über die Marktdurchdringung effizienterer Fahrzeuge und der damit einhergehenden Reduktion des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs in den jeweiligen Fahrzeugklassen wurden die CO₂-Emissionen im Straßengüterverkehr bis zum Jahr 2030 bestimmt (vgl. Abbildung 9).

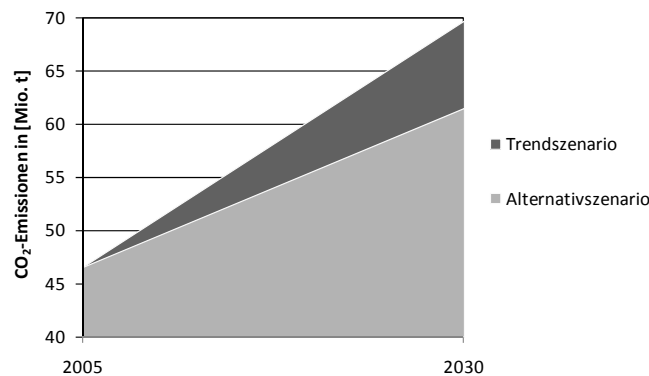


Abbildung 9: Entwicklung der im Straßengüterverkehr verursachten CO₂-Emissionen

Trotz zum Teil deutlicher Effizienzverbesserungen wachsen die gesamten CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs im Trendszenario um etwa 50 % auf 70 Mio. Tonnen CO₂ im Jahr 2030. Den größten Reduktionsbeitrag gegenüber heutiger Fahrzeugtechnologie erbringen technische Effizienzmaßnahmen – in Höhe von 14 Mio. Tonnen CO₂. Biokraftstoffe tragen immerhin mit mehr als 2 Mio. Tonnen zur CO₂-Reduktion bei. Gleichwohl gelingt es nicht, einen Beitrag zur Reduktion der nationalen CO₂-Emissionen zu leisten; vielmehr ist mit einer weiteren Erhöhung zu rechnen.

Im Alternativszenario kann der Anstieg der CO₂-Emissionen auf 32 % bzw. 61 Mio. Tonnen in 2030 begrenzt werden. Effizienztechnologien ermöglichen CO₂-Minderungen von etwa 18 Mio. Tonnen, der Einsatz einer höheren Beimischquote von Biokraftstoffen reduziert 7 Mio. Tonnen CO₂. Obwohl im Alternativszenario bereits einige aus heutiger Sicht ambitionierte Annahmen getroffen werden, reicht dies immer noch nicht aus, um den Anstieg der CO₂-Emissionen infolge steigender

Verkehrs- und Fahrleistungen im Straßengüterverkehr zu kompensieren oder sogar einen Beitrag zur Gesamtreduktion von CO₂ zu leisten.

4 Fazit

Bis zum Jahr 2030 wird der Fahrzeugbestand auf bis zu 3 Mio. Lkw ansteigen und sich jährlich um ein Zehntel erneuern. Der Dieselantrieb wird bis dahin die wesentliche Antriebstechnik im Straßengüterverkehr bleiben, wobei Effizienztechnologien den spezifischen Kraftstoffverbrauch je nach Fahrzeugklasse und Szenario zwischen 19 und 36 % reduzieren. Alternative Antriebe und Kraftstoffe werden ihren Marktanteil gegenüber heute erhöhen, können jedoch den Dieselantrieb nicht ersetzen. Dies führt bei gleichzeitig weiter steigenden Fahrleistungen zu einem weiteren Anstieg der CO₂-Emissionen im Straßengüterverkehr.

5 Literatur

- [Bor09] Borchers, U.: *Alter der Fahrzeuge, Stand 3.12.2008*. Kraftfahrt-Bundesamt (Hrsg.), Flensburg, 21. April 2009.
- [BVU07] BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt, Intraplan Consult: *Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025*. München/Freiburg, 14. November 2007.
- [Den10] Deutsche Energieagentur: *Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix*. Berlin, 2010.
- [EU00] Kommission der Europäischen Gemeinschaften: *Bericht über das Programm Auto-Öl II*. In: Mitteilung der Kommission, KOM(2000) 626, 5. Oktober 2000. Brüssel.
- [Ewi05] EWI/Prognos: *Energieszenarien für den Energiegipfel 2007*. Basel/Köln, 2007.
EWI/Prognos: *Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030*. Berlin, 2005.
- [KBA08] Kraftfahrt-Bundesamt: *Der Fahrzeugbestand am 1.1.2008*. Pressemitteilung Nr. 4/2008, Flensburg, 23. Januar 2008.
- [KBAA] Kraftfahrt-Bundesamt: *Fahrzeugbestand*. In: Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes, Reihe 2, Flensburg, 1990-2006.
Kraftfahrt-Bundesamt: *Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Januar des Jahres*. In: Fahr-

- zeugzulassungen, Sammelband FZ 6, Flensburg, 2007-2010.
- [KBAAb] Kraftfahrt-Bundesamt: *Kraftfahrzeuge – Neuzulassungen, Besitzumschreibungen, Löschungen, Bestand*. In: Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes, Reihe 1, Flensburg, Dezember 1996-2000, Februar 2001-2006.
- Kraftfahrt-Bundesamt: *Neuzulassungen, Besitzumschreibungen und Außerbetriebsetzungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern des Jahres*. In: Fahrzeugzulassungen, Sammelband FZ 7, Flensburg, 2007-2009.
- [Kal09] Kalinowska, D., Kunert, U.: *Kraftfahrzeugverkehr 2008 noch auf hohem Niveau*. In: DIW-Wochenbericht (76), 50/2009, S. 872-882.
- [KiD02] BMVBS: *Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland 2002 (KiD 2002). Fahrzeug- und Fahrtendatensatz*. Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin, 2003.
- [Lah09] Lahl, U.: *Ölwechsel. Biokraftstoffe und nachhaltige Mobilität*. Berlin, 2009, S. 118.
- [Las] lastauto omnibus: *Lastauto Omnibus Katalog 1990-2010*. EuroTransportMedia Verlag, Stuttgart, 1989-2010.
- [Mue09] Müller, S., Schneider, S.: *A methodology for deploying VISEVA-W/VISUM for large area goods transport modelling*. DLR – Institut für Verkehrsforschung, 2009. URL: <http://elib.dlr.de/66323/>.
- [Nit08] Nitsch, J.: „Leitstudie 2008“ – *Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbarer Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas*. In: Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Reihe Umweltpolitik, Berlin, Oktober 2008.
- [Öko09] Öko-Institut, DLR – Institut für Verkehrsforschung: *Renewability – Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030*. FZK 0327547 im Auftrag d. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Teil 1 und 2, Berlin, 2009.
- [UBA09a] Umweltbundesamt: *Hintergrund: Entwicklung der Luftqualität in Deutschland*. Dessau, Oktober 2009.
- [UBA09b] Umweltbundesamt: *Daten zum Verkehr*. Ausgabe 2009, Dessau, 2009.