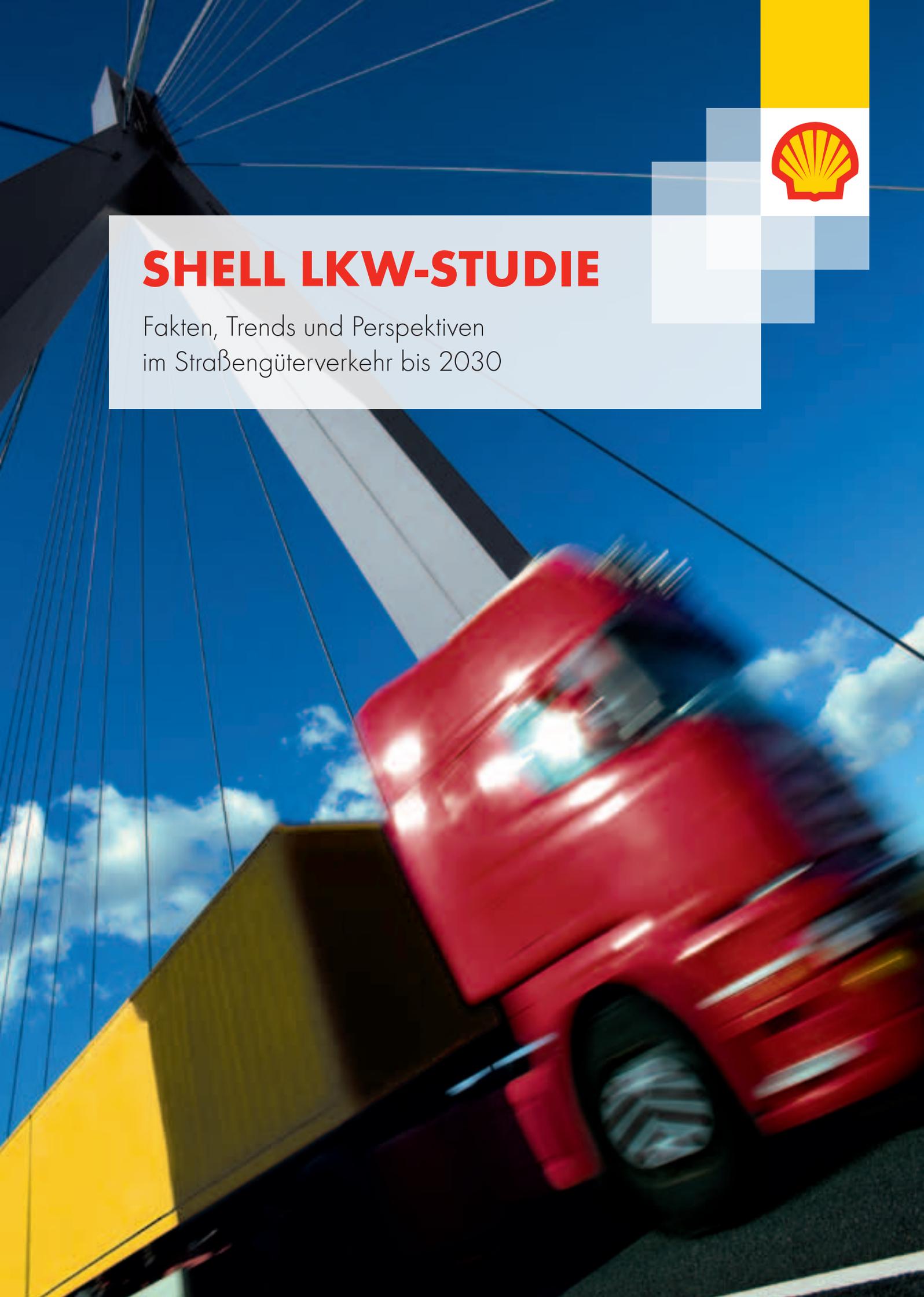




SHELL LKW-STUDIE

Fakten, Trends und Perspektiven
im Straßengüterverkehr bis 2030



Herausgeber:
Shell Deutschland Oil GmbH
22284 Hamburg

Bilder:
Titel und Inhalt: Andreas Kess

Gestaltung und Produktion:
Mänz Kommunikation

Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier



SHELL LKW-STUDIE

Fakten, Trends und Perspektiven im Straßengüterverkehr bis 2030

Erstellung und Projektdurchführung durch:



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

**Prof. Dr. Barbara Lenz
Dipl.-Ing. Andreas Lischke
Dipl.-Volksw. Gunnar Knitschky**

www.dlr.de



Shell Deutschland

**Dr. Jörg Adolf
Felix Balthasar CEng**

www.shell.de

Unter Mitarbeit des Hamburgischen WeltWirtschaftsinstituts (HWWI)



**Hamburgisches
WeltWirtschafts
Institut**

**Dipl.-Volksw. Jana Stöver
Dipl.-Volksw. Leon Leschus
Prof. Dr. Michael Bräuningner**

www.hwwi.org

Hamburg/Berlin, April 2010

KURZFASSUNG

Seit über 50 Jahren veröffentlicht Shell Szenarien zur künftigen Entwicklung des motorisierten Individualverkehrs; nun legt Shell – in Zusammenarbeit mit dem Institut für Verkehrsforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt – die erste Shell Lkw-Studie vor.

Während Pkw-Mobilität in den kommenden Jahren deutlich nachhaltiger wird, entwickelt sich der Straßengüterverkehr weiterhin außerordentlich dynamisch. Mit zunehmender Bedeutung des Straßengüterverkehrs stellen sich auch für den Lkw Fragen nach seiner Performance in Sachen Umwelt, Energie und Klima.

Die vorliegende Shell Lkw-Studie bereitet zunächst den gesamtwirtschaftlichen und verkehrlichen Kontext des Straßengüterverkehrs in Deutschland bis 2030 auf. Im Zentrum der Lkw-Studie stehen die im Straßengüterverkehr eingesetzten, motorisierten Kraftfahrzeuge – vereinfachend Lkw oder auch Güterkraftfahrzeuge. Anhand aktueller verkehrsstatistischer Daten werden zum einen Strukturen und Trends bei Kraftfahrzeugen für den Güterverkehr analysiert. Zum anderen werden die technologischen Potenziale heutiger sowie mittelfristig verfügbarer Antriebs-, Fahrzeug- und Kraftstofftechnologien im Nutzfahrzeugsektor und ihre möglichen Auswirkungen auf Umwelt-, Energie- und Klimaziele untersucht. Dabei werden künftiger Energieverbrauch und CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs sowie des Straßenverkehrs

insgesamt – unter Zuhilfenahme der 25. Shell Pkw-Studie – anhand zweier Szenarien abgeschätzt. Die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Shell Lkw-Studie lauten:

- 1) Der Straßengüterverkehr, insbesondere der Straßengüterfernverkehr, wird immer sauberer; die Flotte leichter Nutzfahrzeuge modernisiert sich jedoch nur langsam. Technisch aufwändigere Abgasreinigungstechnologien machten die Lkw teurer und erhöhten in den letzten Jahren den Energieverbrauch.
- 2) Bei Antrieb und Energieversorgung dominiert heute der Diesel. Der Lkw des Jahres 2030 wird voraussichtlich weiter verbesserte Dieselsysteme nutzen, je nach Fahrprofil Hybridtechnik einsetzen, nachhaltige Biokraftstoffe und optimierte Fahrzeugtechnologie kombinieren.
- 3) Der Anteil des Straßengüterverkehrs an den gesamten CO₂-Emissionen liegt heute bei 5 %; dieser wird jedoch aufgrund erwarteter Verkehrs- und Fahrleistungen des Lkw steigen. Aufgrund technologischer Verbesserungen am Lkw, vor allem aber dank deutlich nachhaltigerer Pkw-Mobilität bleiben die CO₂-Emissionen des motorisierten Straßenverkehrs im Zeitraum 2005 bis 2030 im Trendszenario stabil, im Alternativszenario sinken sie gar um etwa 17 %.

ABSTRACT

Shell has been publishing scenarios on future development of motorised individual transport for more than 50 years. Now Shell has prepared the first Shell Freight Vehicle Study, in cooperation with the Institute of Transport Research of the German Aerospace Centre (DLR).

Whereas passenger car mobility will become more sustainable in the coming years, road goods transport will continue to develop with a great deal of dynamism. And as it takes on more importance, that will also raise questions about the environmental, energy and climate inventories of freight vehicles.

The present Shell Freight Vehicle Study starts by examining the overall economic and traffic contexts of road goods transport in Germany up to 2030. The main focus of the Freight Vehicle Study is the vehicles used in road freight transport, that is trucks/lorries and other goods vehicles. The structures and trends in freight vehicles are analysed on the basis of the latest transport statistics. And the technological potentials of the systems available for freight vehicles today and in the medium-term future are analysed for propulsion, vehicle and fuel technology, to determine possible impact on the environment, fuel economy and climate goals. Future developments in energy consumption and carbon emissions from the transport of goods by road are estimated on the basis of two scenarios, making use of the 25th Shell Passenger Car Study.

The most important findings of this Shell Freight Vehicle Study are:

- (1) Goods transport by road, especially long-haul transport, is becoming cleaner; but the speed of modernisation is slower for the light commercial vehicle fleet. Technically more complex exhaust gas cleaning technology has made trucks more expensive, and increased their energy consumption in recent years.
- (2) The diesel is the dominant system for propulsion and power supply today. The freight vehicle of the year 2030 is expected to use further improved diesel technology and, depending on its area of operations, also combine this with hybrid technology, sustainable biofuels and optimised vehicle technology.
- (3) The share of road goods transport in total carbon emissions today is around 5 %; but this figure will rise due to the expected increase in traffic and mileage by freight vehicles. Technological improvements in trucks, and in particular more sustainable mobility in passenger cars, will keep carbon emissions from all road vehicles stable in the period from 2005 to 2030 in the trend scenario, and will reduce emissions by about 17 % in the alternative scenario.

INHALT

EINLEITUNG	6
ZUSAMMENFASSUNG	62
LITERATURVERZEICHNIS	66
WEB-LINKS	69
DEFINITIONEN & STATISTIK	70



KAPITEL I: 10
GÜTERVERKEHR IN DEUTSCHLAND



KAPITEL II: 18
TYPEN, FLOTTEN, NEUZULASSUNGEN



KAPITEL III: 24
STRASSEN-GÜTERVERKEHR & UMWELT



KAPITEL IV: 36
ANTRIEBE, KRAFTSTOFFE, TECHNIK



KAPITEL V: 52
KRAFTSTOFFVERBRAUCH UND CO₂

EINLEITUNG

SHELL LKW-STUDIE

HERAUSFORDERUNG STRASSEN-GÜTERVERKEHR

In Deutschland waren nach aktueller Zählung im Jahre 2009 rund 2,5 Mio. Lkw und Sattelzugmaschinen zugelassen; ihre Zahl wächst und wird ergänzt durch eine zunehmende Zahl ausländischer Fahrzeuge auf deutschen Straßen.

Der Bereich Güterverkehr und Logistik hat sich ebenso wie seine Verkehrs- und Fahrleistungen in den vergangenen zwei Jahrzehnten außerordentlich dynamisch entwickelt und wird dies voraussichtlich auch weiterhin tun.

Der Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen des motorisierten Individualverkehrs sind bereits seit Jahren rückläufig, beim Lkw legen sie weiter zu. Während vom Straßengüterverkehr ausgehende Belastungen zunehmen, steigen auf der anderen Seite die Anforderungen an seine Nachhaltigkeit.

Dabei scheinen alternative Technologien für den Güterverkehr auf der Straße weit weniger entwickelt und noch weiter von der Marktreife entfernt als im Pkw-Bereich. Bislang ist für den Straßengüterverkehr von morgen zumindest kein Königsweg in Sicht.

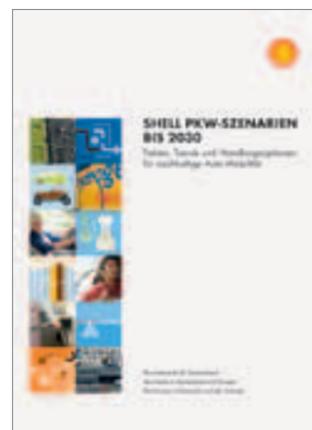
WIE GEHT'S WEITER MIT DEM LKW?

Ganz ähnlich wie beim Pkw stellt sich deshalb auch beim Lkw immer dringender die Frage: Wie geht's weiter? Und auch beim Straßengüterverkehr wird inzwischen gefragt: Wie könnte die Nachhaltigkeit des Straßengüterverkehrs künftig verbessert werden?

Es gibt also viele Gründe, die Zukunft – oder besser mögliche Zukünfte – des Straßengüterverkehrs genauer zu erforschen. Denn es gibt nicht die eine zu erwartende Zukunft; vielmehr

sind künftige Entwicklungen weitgehend ungewiss. Hier kann Szenario-Technik helfen, alternative Zukünfte zu explorieren.

SHELL SZENARIEN: VOM PKW ZUM LKW



Shell befasst sich seit vielen Jahren mit Fragen zur Zukunft der Mobilität. In Deutschland entwickelt Shell seit 1958 Szenarien zur künftigen Entwicklung des motorisierten Individualverkehrs. Bisher sind 25 Ausgaben der Shell Pkw-Szenarien erschienen. Die aktuelle Studie blickt bis ins Jahr 2030. Sie befasst sich zum einen mit den langfristigen Folgen des demografischen

Wandels für Auto-Mobilität in Deutschland, zum anderen mit der Nachhaltigkeit von Auto-Mobilität.¹⁾

Historisch gesehen hat die Mobilität von Personen und Gütern immer weiter zugenommen; Mobilität gilt vielfach als unverzichtbar im modernen Leben. Wichtigster Träger von Mobilität sind heute Kraftfahrzeuge – also Lkw und Pkw. Die Rahmenbedingungen für die Wahrnehmung von Auto-Mobilität haben sich in den letzten Jahren jedoch deutlich verändert. Autos verbrauchen Energie und produzieren damit das Treibhausgas Kohlendioxid, und sie emittieren Schadstoffe.

1) Vgl. Shell Deutschland, Nachhaltige Auto-Mobilität bis 2030. Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität. Pkw-Szenarien für Deutschland, Hamburg 2009, www.shell.de/pkwszenarien.

2,5 MILLIONEN LKW IN DEUTSCHLAND

70% ANTEIL AM GÜTERVERKEHR

Leitthema der 25. Shell Pkw-Szenarien war daher: Wie nachhaltig wird sich Auto-Mobilität in Deutschland in den kommenden Jahren entwickeln? Wie und in welchem Zeitrahmen kann das Automobil welchen Beitrag zu nachhaltiger Mobilität leisten? Zur Untersuchung der Nachhaltigkeitspotenziale künftiger Auto-Mobilität wurden dabei erstmals in zwei Szenarien qualitativ-technisch unterschiedliche automobiler Entwicklungen betrachtet.

Die Erforschung von Pkw-Trends ist und bleibt wichtig zur Vorausschau auf künftige Entwicklungen im gesamten Verkehrsbereich; denn der Pkw ragt unter allen Verkehrsträgern in seiner Bedeutung weit heraus. Von den heute rund 50,2 Mio. in Deutschland zugelassenen Kraftfahrzeugen sind 41,7 Mio. Pkw.²⁾ Von den im Jahr 2008 auf Deutschlands Straßen erbrachten Fahrleistungen in Höhe von rund 690 Mrd. Fahrzeugkilometern erfolgten rund 85 % mit dem Pkw. Und auch von den 2008 in Deutschland verbrauchten Kraftstoffen von etwa 53 Mio. Tonnen wurden ca. zwei Drittel vom motorisierten Individualverkehr konsumiert.³⁾

Die 25. Shell Pkw-Studie kam zu dem Ergebnis, dass die Pkw-Motorisierung in Deutschland bis 2030 nochmals um etwa 2,5 Mio. Einheiten wächst; die Pkw-Fahrleistungen stabilisieren sich hingegen bei etwa 590 Mrd. Fahrzeugkilometern. Der Kraftstoffverbrauch und auch die Pkw-bedingten CO₂-Emissionen werden in den nächsten Jahren jedoch deutlich sinken. Schon im Trendszenario gehen die CO₂-Emissionen des Pkw-Verkehrs in Deutschland im Zeitraum 2005 bis 2020 um rund 14 % zurück; im noch anspruchsvolleren Alternativszenario sind es von 2005 bis 2030 sogar minus

2) Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt, Der Fahrzeugbestand am 1. Januar 2010, Pressemitteilung Nr. 6/2010, Flensburg, 17. Februar 2010.

3) Dominika Kalinowska, Uwe Kunert, Kraftfahrzeugverkehr 2008 noch auf hohem Niveau, in: DIW-Wochenbericht, 76. Jahrgang, Nr. 50/2009, Tabellen 1-3, S. 875ff.

38 %, also fast zwei Fünftel weniger Treibhausgase. Auto-Mobilität wird in den kommenden Jahren also deutlich nachhaltiger werden.

Shell beschäftigt sich als langfristig denkendes Energieunternehmen seit Jahrzehnten mit Szenariotechnik.⁴⁾ Und Shell arbeitet seit langem an technischen und wirtschaftlichen Verbesserungen für Lkw – vielfach zusammen mit und für die Fahrzeughersteller und Zulieferer, für Flottenbetreiber, zusammen mit wissenschaftlichen Einrichtungen und auch der Politik. Bislang hat Shell keine eigene Lkw-Studie vorgelegt. Im Zusammenhang mit der Vorstellung der 25. Shell Pkw-Studie zeigte sich jedoch nicht nur großes Interesse an Fragen zur künftigen Personenmobilität. Mit besserer Information über Fakten, Trends und Handlungsoptionen zur Pkw-Mobilität stellten sich fast die gleichen Fragen zur Zukunft des Lkw. Letztendlich ist der Lkw aber auch nichts anderes als ein – wenn auch spezielles – Automobil. Die große Dynamik des Straßengüterverkehrs in den letzten Jahren, seine überragende Bedeutung für die Wirtschaft sowie die Diskussion um die Einwirkung des Lkw auf Umwelt, Energie und Klima haben Shell dazu veranlasst, nun erstmals eine eigene Shell Lkw-Studie vorzulegen.

ZIELE UND LEITFRAGEN

Die erste Shell Lkw-Studie trägt den Untertitel *Fakten, Trends und Perspektiven im Straßengüterverkehr bis 2030*. Sie bereitet wichtige Fakten im und um den Güterkraftverkehr auf, untersucht aktuelle und künftige Trends und zeigt Perspektiven langfristiger Entwicklungen im Straßengüterverkehr auf. Die Lkw-Studie konzentriert sich dabei auf Entwicklungen in

4) Vgl. Shell International, Scenarios: An Explorer's Guide, Den Haag 2008; Shell Long-term Energy Scenarios to 2050, The Hague 2008, www.shell.com/scenarios.



Deutschland. Sie gibt an einzelnen Stellen aber auch Einblicke in globale oder europäische Entwicklungen.

Die Lkw-Studie wendet sich an Entscheider in der Verkehrswirtschaft, aber auch an interessierte Stakeholder in der Verkehrs-, Energie-, Klima- und Umweltpolitik. Ihr Anspruch ist es, dem Leser nützliche Informationen und Einschätzungen zur heutigen verkehrswirtschaftlichen und -politischen Diskussion rund um den Lkw bereitzustellen.

TECHNOLOGISCHE PERSPEKTIVEN UND POTENZIALE

Shell ist nicht nur Energie-, sondern vor allem auch Technologieunternehmen. Zu den Kernkompetenzen des Unternehmens gehören die Erforschung und Entwicklung neuer Energie-, Antriebs- und Kraftstofftechnologien.

Im Zentrum der ersten Shell Lkw-Studie stehen daher die im Straßengüterverkehr eingesetzten motorisierten Kraftfahrzeuge – im täglichen Sprachgebrauch oftmals auch vereinfachend Lkw genannt. Ziel der Studie ist es, Informationen und Orientierung über die technologischen Perspektiven der im Straßengüterverkehr eingesetzten Fahrzeuge bereitzustellen. Hierfür werden die technologischen Potenziale heutiger sowie mittelfristig verfügbarer Antriebs-, Fahrzeug- und Kraftstofftechnologien im Nutzfahrzeugsektor und ihre möglichen Auswirkungen auf Umwelt-, Energie- und Klimaziele untersucht.

Im ersten Kapitel bereitet die vorliegende Shell Lkw-Studie zunächst den gesamtwirtschaftlichen und verkehrlichen Kontext des Straßengüterverkehrs in Deutschland bis 2030 auf: Anhand ökonomischer Zusammenhänge, verkehrswirtschaftlicher Messzahlen, wirtschaftlicher Leistungsdaten und unternehmerischer Auswahlkriterien werden die heutigen Strukturen des Straßengüterverkehrs beschrieben.

Wenn eingangs von Shell Lkw-Studie gesprochen wird, ist diese verkürzte Begrifflichkeit nicht ganz korrekt. Ein Lastkraftwagen oder Lkw ist ein Nutzfahrzeug, das nach seiner Bauart und Einrichtung zum Transport von Gütern bestimmt ist.⁵⁾ In der Verkehrsstatistik wird sehr fein zwischen unterschiedlichen Fahrzeugklassen für den Straßentransport unterschieden. Manche Klassifizierungen überlappen sich, in jedem Falle aber entwickeln sich einzelne Fahrzeugklassen im Straßengüterverkehr sehr unterschiedlich. In Kapitel 2 werden deshalb die wichtigsten statistischen Fakten und Trends zu Nutzfahrzeugen zusammengestellt und ausgewertet.

UMWELT, ENERGIE, KLIMA

In den Kapiteln 3 bis 5 werden dann die Schnittstellen des Straßengüterverkehrs mit den Nachhaltigkeitsthemen Umwelt, Energie und Klima untersucht und die technologischen Potenziale des Lkw in allen drei Kategorien abgeschätzt.

Lkw und Umwelt

Die Auswirkungen des Straßenverkehrs, insbesondere des Lkw-Verkehrs auf die Umwelt, sind vielfältig. Doch kaum ein Thema hat die im Straßengüterverkehr eingesetzten Antriebs- und Kraftstofftechnologien in den vergangenen Jahren derart verändert wie die Luftreinhaltepolitik. Neue Vorschriften sind bereits erlassen und Technologien entwickelt. Beide werden das Erscheinungsbild der Nutzfahrzeuge in den kommenden Jahren maßgeblich verändern.

Für Verlader und auch Politik stellen sich Fragen wie: Welche Technologien gibt es, um die neuen Luftqualitäts- und Emissionsstandards zu erfüllen? Wie schnell schreitet die Technologiediffusion in den einzelnen Nutzfahrzeugsegmenten voran?

5) Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt, Methodische Erläuterungen zu Statistiken über Fahrzeugzulassungen, Flensburg, März 2010, S. 6, www.kba.de.

**NEUE STANDARDS
NEUE TECHNOLOGIEN
EFFIZIENZPOTENZIALE
ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE**

Antriebe, Kraftstoffe, Fahrzeugtechnik

Neben der klassischen Umweltproblematik suchen heute alle wichtigen Akteure intensiv nach Möglichkeiten, die Energieeffizienz im Straßentransport zu erhöhen sowie Energieverbrauch und CO₂-Emissionen zu senken. Dabei stützt sich der Straßengüterverkehr nach wie vor fast ausschließlich auf Diesels-technologie und mineralische Dieselskraftstoffe.

Und auch hier stellen sich Fragen wie: Welche technologischen Optimierungspotenziale bietet der Diesel noch? Welche alternativen Kraftstoffe und Antriebstechnologien sind im Nutzfahrzeugbereich mittelfristig zu erwarten? Wie lassen sich Kraftstoff- und Energieverbrauch sonst noch weiter reduzieren?

Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen

Aufgrund seiner zunehmenden Bedeutung bei Energieverbrauch und CO₂-Emissionen gerät der Lkw immer stärker in den Fokus von Verkehrs-, Energie- und Klimapolitik. Anhand zweier Szenarien, eines Trend- und eines Alternativszenarios, wird daher abgeschätzt, wie sich Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs in Deutschland in den nächsten 20 Jahren entwickeln werden; hierbei wird abschließend auch – unter Hinzuziehung der Ergebnisse der aktuellen Shell Pkw-Szenarien bis 2030 – eine integrierte Gesamtabschätzung der CO₂-Emissionen des Lkw- und des Pkw-Verkehrs vorgenommen.

AUTOREN UND MITARBEITER

Bei der Erstellung der ersten Shell Lkw-Studie hat Shell eng mit dem Institut für Verkehrsforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Berlin kooperiert. Das Institut bearbeitet ein breites Spektrum von verkehrswissenschaftlichen Fragestellungen. Dazu gehören die Erforschung von Ursachen und Veränderungen im Personen- und Wirtschaftsverkehr, die

Analyse und Bewertung verkehrsbeeinflussender Maßnahmen, Energie- und Emissionsbilanzen des Verkehrs oder auch die Anwendung von Modellierungswerkzeugen im Verkehr.

Die Arbeit entstand unter der wissenschaftlichen Leitung von Frau Professor Dr. Barbara Lenz. Konzipiert und erarbeitet wurde die Studie von Diplom-Ingenieur Andreas Lischke sowie Diplom-Volkswirt Gunnar Knitschky, unterstützt durch Carsten Tschesche als studentischem Mitarbeiter.

Bei der Erstellung von Teilen des ersten Kapitels *Güterverkehr in Deutschland* haben ferner mitgearbeitet Diplom-Volkswirtin Jana Stöver, Diplom-Volkswirt Leon Leschus sowie Prof. Dr. Michael Bräuninger vom Hamburgischen WeltWirtschaftsinstitut HWWI.

Das Projekt-Management und die wissenschaftliche Mitarbeit auf Seiten von Shell lag bei Dr. Jörg Adolf sowie für technisch-wissenschaftliche Fragestellungen Felix Balthasar Chartered Engineer. Weitere Unterstützung zu den Abschnitten Kraftstoffqualitäten und Biokraftstoffe erfolgte durch Diplom-Chemiker (FH) Siegmund Witt und Diplom-Volkswirt Bernd Pfeiffer, beide ebenfalls aus dem Hause Shell.

Zusätzlich wurde bei der Erstellung der Lkw-Studie eine Reihe von Experten, Entscheidungsträgern, Stakeholdern und Mitarbeitern befragt, denen Shell an dieser Stelle seinen Dank ausspricht.

Eine Auswahl relevanter Daten, Quellen und nützlicher Web-Links befindet sich am Ende der Studie.

GÜTERVERKEHR IN DEUTSCHLAND

Güterverkehr ist abgeleiteter Verkehr und reflektiert damit aktuelle Beschaffungs-, Produktions- und Nachfragestrukturen der Wirtschaft. Ein wachsender Anteil des Güterverkehrs ist grenzüberschreitend. Das gilt insbesondere für Deutschland mit seiner stark exportorientierten Wirtschaft. Immerhin werden heute rund zwei Fünftel des deutschen Inlandsproduktes für den Export verwendet. Wie es mit dem internationalen Handel künftig weitergeht, ist daher von herausragender Bedeutung für das deutsche Wirtschaftsmodell ebenso wie für den Güterverkehr in und durch Deutschland. Deswegen sollen im Folgenden zunächst die mittelfristigen Perspektiven internationalen Güterverkehrs untersucht werden.

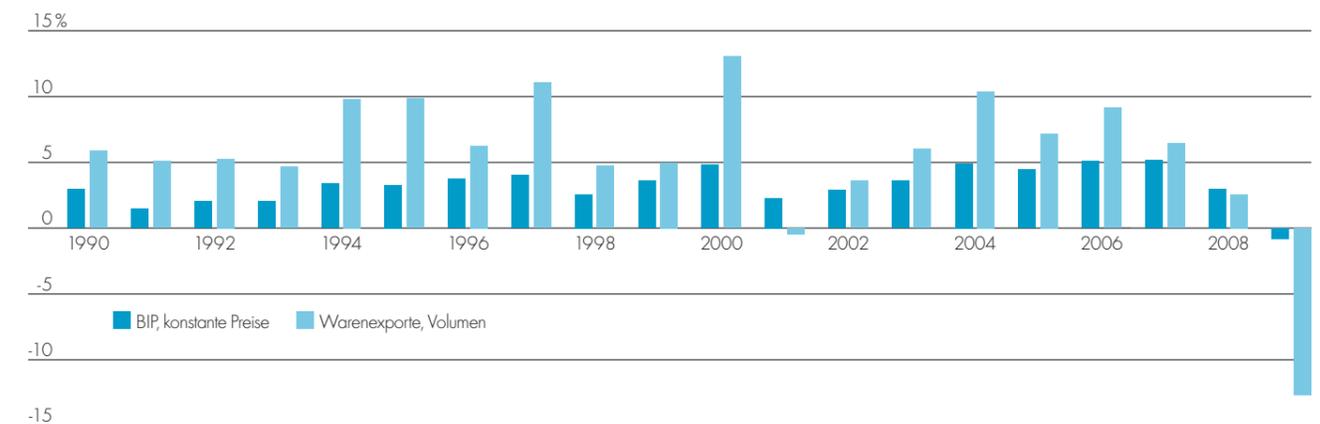
Güterverkehr und Logistik bilden ein komplexes System. Der Straßengüterverkehr stellt hierfür eine tragende Säule dar. Da eine isolierte Betrachtung des Straßengüterverkehrs allein wenig aufschlussreich wäre, werden des Weiteren Trends, Strukturen und Prognosen für den gesamten Güterverkehr in Deutschland sowie in Europa anhand wichtiger verkehrswirtschaftlicher Kennzahlen dargestellt.

Güterverkehr und Transportdienstleistungen sind aber auch wichtiger Wirtschaftsfaktor in einer modernen Volkswirtschaft. Welchen volkswirtschaftlichen Beitrag der Güterverkehr im

Haupttreiber für die globale Wirtschaftsintegration sind weitreichende weltpolitische Veränderungen, wirtschaftspolitische Entscheidungen und technologische Entwicklungen.⁶⁾

Zunächst hat sich mit dem Fall der Berliner Mauer sowie durch die wirtschaftliche Öffnung Chinas, Indiens und der ehemaligen Sowjetunion die Zahl der Menschen, die an der globalen Wirtschaftswelt teilnehmen, mehr als verdoppelt. Standen der Weltwirtschaft vor der Jahrhundertwende etwa 1½ Mrd. Arbeitskräfte zur Verfügung, sind es heute rund 3 Mrd. Durch diese „große Verdoppelung“ und die starke

1 WACHSTUM DES GLOBALEN BIP UND WARENEXPORTS IM VERGLEICH



Quelle: IMF (2009, 2010); Darstellung HWWI

weiteren Sinne leistet, wird anhand relevanter Wirtschaftsstatistiken diskutiert. Zuletzt werden wesentliche Eigenschaften der einzelnen Verkehrsträger, die Positionierung des Lkw im Verkehrsträgermix sowie künftige Herausforderungen betrachtet.

1.1 INTERNATIONALER GÜTERAUSTAUSCH

Die wirtschaftliche Verflechtung hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Nirgends wird dies so deutlich, wie im grenzüberschreitenden Handel mit Waren und Dienstleistungen. In den Jahren vor Beginn der globalen Finanz- und Wirtschaftskrise wuchsen die globalen Warenexporte um durchschnittlich etwa 5% pro Jahr; das ist deutlich mehr als das Weltwirtschaftswachstum, das in der Zeit von 2000 bis 2008 nur um etwa 3% pro Jahr zulegen konnte (vgl. Abbildung 1).

Zunehmender internationaler Handel mit Gütern und Dienstleistungen ist ein wichtiger Aspekt der Globalisierung. Die

Ausdehnung der Märkte ergab sich für die Güter- und Dienstleistungsproduktion erhebliches neues Potenzial für Arbeitsteilung und Spezialisierung.⁷⁾

Zweitens wurden durch Handelsliberalisierung, regionale Wirtschaftsintegration und Deregulierung wichtiger Wirtschaftssektoren wie Telekommunikation und Verkehr Märkte geöffnet. In der Europäischen Gemeinschaft sorgte insbesondere das EU-Binnenmarktprogramm von 1992 sowie die anschließende Nord- und Osterweiterung für wirtschaftliche Dynamik.

So wurden durch Einführung der EU-Dienstleistungsfreiheit im Güterverkehr in Kombination mit neuen Informations- und Kommunikationstechnologien ganz neue Möglichkeiten standortübergreifender Produktion geschaffen. Heute ist die

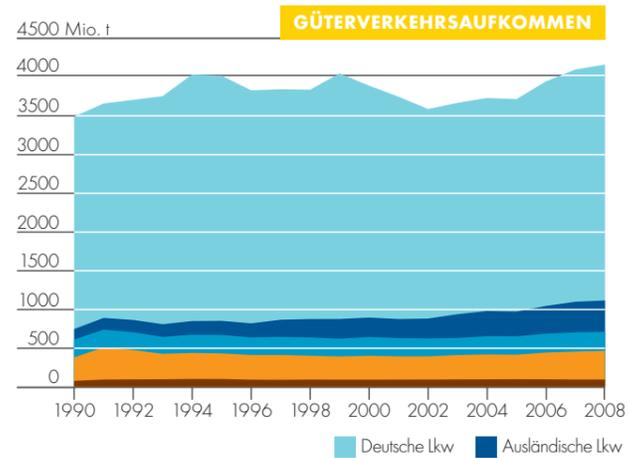
6) Vgl. World Trade Organisation, World Trade Report 2008. Trade in a Globalizing World, Genf 2008, S. 15-26.

7) Vgl. Richard B. Freeman, The Challenge of the Growing Globalization of Labor Markets to Economic and Social Policy, in: Eva Paus (Editor), Global Capitalism Unbound. Winners and Losers from Offshore Outsourcing, New York 2007, S. 23-40.

EU der größte integrierte Wirtschaftsraum mit einheitlichem Binnenmarkt. Die Europäisierung und Internationalisierung von Beschaffung, Produktion und Distribution führte allerdings auch zu einem starken Anwachsen des grenzüberschreitenden Verkehrs. Trotz stark steigenden EU-Extrahandels sind heute

verhalten sich ähnlich wie Warenausfuhren, machen jedoch mit ca. \$ 3.800 Mrd. nur etwa ein Viertel des Warenexports in Höhe von rund \$ 16.000 Mrd. (2008) aus.¹⁰⁾

2 GÜTERVERKEHRSAUFKOMMEN UND GÜTERVERKEHRSLEISTUNG IN DEUTSCHLAND



Quelle: Verkehr in Zahlen 2009/2010, 2008 vorläufige Werte

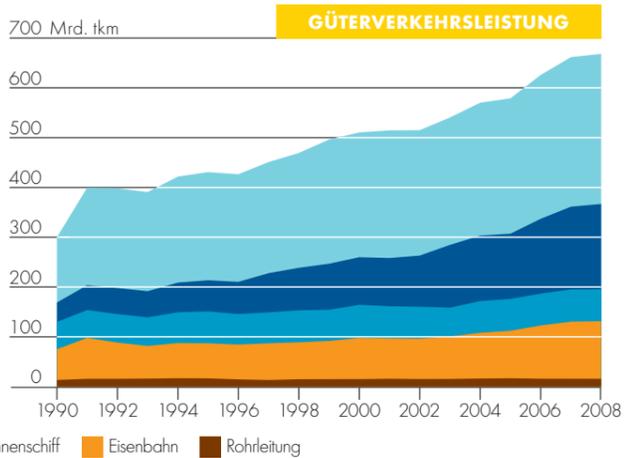
aber immer noch zwei Drittel des Außenhandels der EU-Mitgliedsländer EU-Binnenhandel.

Und schließlich wurden durch technologische Innovationen die Transaktions- und Handelskosten deutlich gesenkt. Durch den Ausbau von Verkehrsinfrastruktur und die Containerisierung des internationalen Güterverkehrs wurden erhebliche Kosteneinsparungen und Produktivitätsfortschritte ermöglicht.⁸⁾ Zum anderen konnten die Informations- und Kommunikationskosten durch die Einführung neuer Kommunikationstechnologien sowie Software dramatisch gesenkt werden.⁹⁾

Niedrigere Handelskosten führen tendenziell zu einer stärkeren räumlichen Konzentration der Güterproduktion (Agglomeration). Und niedrigere Handelskosten begünstigen eine immer stärkere Zerlegung von Wertschöpfungsketten sowie den Aufbau mehrstufiger, regionaler und länderübergreifender Produktionsprozesse (Fragmentation).

Die zunehmende wirtschaftliche Verflechtung wird besonders im starken Wachstum des internationalen Güterhandels deutlich. Der globale Güterexport entwickelt sich nicht nur parallel zum Wirtschaftswachstum; die Warenexporte wachsen in der Regel sogar schneller als die Weltwirtschaft. Zum Teil geht dies auf den weltweit zunehmenden grenzüberschreitenden Handel mit Zwischenprodukten zurück.

Besonders stark auf wirtschaftliches Wachstum reagieren Industriegüterexporte; diese werden wiederum geprägt von einem hohen Handelsanteil von Zwischenprodukten. Dienstleistungsexporte einschließlich Transportdienstleistungen



Im Zuge der globalen Finanz- und Wirtschaftskrise war das globale Wirtschaftswachstum erstmals seit Jahren mit etwa einem Prozent leicht negativ. Dagegen ging der internationale Handel im Jahr 2009 weit stärker - nämlich um über 12% - zurück. Vielfach wurde in diesem Zusammenhang die Frage gestellt: Geht damit vielleicht eine lange Phase globaler Wirtschaftsintegration zu Ende?¹¹⁾

Dazu ist Folgendes anzumerken:

Erstens war der ausgeprägte Rückgang des internationalen Handels 2008/09 nichts anderes als die Kehrseite der stark positiven Reaktion des Warenhandels auf Einkommenszuwächse in früheren Jahren - zusätzlich noch verstärkt durch Lagereffekte in der produzierenden Wirtschaft.

Zweitens kam es - anders als in den 1930er Jahren - bislang nur vereinzelt zu direkt protektionistischen Maßnahmen.

Insgesamt bleibt schließlich die politische, infrastrukturelle und technologische Basis für den Ausbau globaler Supply Chains und damit für Wirtschaftsintegration auch weiterhin intakt.

Auch wenn die Finanz- und Wirtschaftskrise einen dämpfenden Effekt auf den internationalen Güterhandel ausüben sollte, dürfte grundsätzlich weiterhin gelten: Mit einer Erholung der Weltwirtschaft nimmt der Gütertausch wieder deutlich zu. Hieraus ergeben sich wiederum Nachfrageeffekte für den Güterverkehr als abgeleitete Wirtschaftsaktivität.

10) Die Einkommenselastizität des globalen Warenexportes lag im Zeitraum 1960-2008 bei durchschnittlich 1,7, bei Industriegütern waren es gar 2,1; das heißt, wuchs die Weltwirtschaft um 1%, legte der Export um 1,7 bzw. sogar 2,1% zu. Vgl. World Trade Organisation, International Trade Statistics 2009, Geneva 2009, S. 1-32.
11) Vgl. zum Beispiel Hubert Escaith, Global Supply Chains in Times of International Crisis, in: Intereconomics, Vol. 44, No. 5, Sep./Oct 2009, S. 268-273.

8) Zu Container-Standards und -Codierung vgl. www.bic-code.org.
9) Vgl. Thomas L. Friedman, The World is Flat, New York 2007, 3. Aufl., S. 3-50, 200-232.

1.2 TRENDS IM GÜTERVERKEHR

Güterverkehr umfasst die Beförderung von Waren aller Art. Zur Beschreibung von Entwicklungen und Strukturen im Güterverkehr werden von der Verkehrsstatistik insbesondere drei Messgrößen verwendet:

- 1.) das Güterverkehrsaufkommen, das die Menge der im Inland transportierten Güter in Millionen Tonnen erfasst;
- 2.) die Güterverkehrsleistung, die sich auf die zurückgelegte Entfernung und die Gutmasse im Inland beförderter Güter bezieht und in Milliarden Tonnenkilometern ausgewiesen wird; und
- 3.) der Modalsplit, der Anteil der einzelnen Verkehrsträger (Modi) am Güterverkehr.

Verkehrsaufkommen und -leistung

Das Güterverkehrsaufkommen lag in Deutschland in den letzten Jahren bei rund 4 Mrd. Tonnen pro Jahr. Es spiegelt zunächst konjunkturelle Entwicklungen wieder und zeigt im Zeitraum 1990 bis 2008 einen leichten Anstieg (vgl. Abbildung 2). Durch Multiplikation des Güteraufkommens mit der jeweils zurückgelegten Entfernung ergibt sich die Güterverkehrsleistung. Seit der Wiedervereinigung ist die Güterverkehrsleistung in Deutschland von 400 Mrd. (1991) auf rund 670 Mrd. Tonnenkilometer im Jahre 2008 gestiegen (vgl. Abbildung 2). Infolge der Finanz- und Wirtschaftskrise sind das Transportaufkommen um 11,2% und die tonnenkilometrische Leistung um 11,7% - und damit deutlich stärker als das BIP mit 5,0% - zurückgegangen.¹²⁾

Die Verkehrsleistung ist ökonomisch aussagekräftiger als das Verkehrsaufkommen, da sie zusätzlich zum Gewicht auch die zurückgelegte Transportdistanz berücksichtigt und Grundlage für die Berechnung weiterer wirtschaftlicher Kenngrößen, wie Transportkosten und -erlöse bildet. Sie orientiert sich jedoch ebenfalls am Gütergewicht und kann folglich Gütermobilität auch nur unzureichend abbilden. Rückschlüsse auf die Gütermobilität könnten eigentlich nur aus den (mittleren) Transportweiten sowie aus Güterstrukturinformationen (Verpackung, Palettierung, Sendungsvolumen usw.) gezogen werden. Hierzu liegen aber keine oder nur unzureichende Daten vor.

Hauptgrund der stetig wachsenden Verkehrsleistung sind vor allem die steigenden durchschnittlichen Transportweiten, die praktisch über alle Verkehrsträger zugelegt haben. Zudem hat sich die Fracht verändert: Im Zeitverlauf wurden die transportierten Güter immer leichter und auch hochwertiger (Güterstruktureffekt). Die Losgrößen wurden im Versand hingegen immer kleiner. Die Verpackungen der Güter wurden ebenfalls leichter, gleichzeitig aber auch voluminöser. Zusätzlich nehmen die Ansprüche an die Transportqualität immer weiter zu (Logistikeffekt).¹³⁾

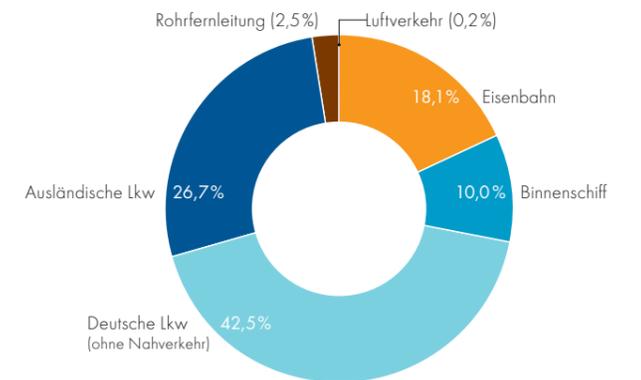
12) Vorläufige Angaben, vgl. Statistisches Bundesamt, Güterverkehr 2009: Starker Rückgang des Transportaufkommens um 11,2%, Pressemitteilung Nr. 30, Wiesbaden, zum Beispiel den 21. Januar 2010.
13) Vgl. Gerd Aberle, Transportwirtschaft. Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen, München 2009, 5. Auflage, S. 18-58 sowie Umweltbundesamt, Strategie für einen nachhaltigen Güterverkehr, Dessau 2009, S. 11f.

Modalsplit

Aus der Güterverkehrsleistung aller Verkehrsträger lässt sich der Modalsplit, der Anteil der einzelnen Verkehrsträger am gesamten Güterverkehr in Deutschland, ableiten (vgl. Abb. 3). Der Modalsplit wird ohne Straßengüterverkehr bis 50 km ausgewiesen, da auf dieser Transportentfernung in der Regel kein Wettbewerb mit anderen Verkehrsträgern stattfindet. Die Hauptlast trägt heute mit knapp 70% der Straßengüterverkehr, der seit Anfang der 1990er Jahre seinen Marktanteil - auch bei zum Teil deutlich gestiegenen Energie- und Mautkosten - um etwa 10 Prozentpunkte vor allem zu Lasten von Eisenbahn und Binnenschiff ausbauen konnte. Die veränderten, immer arbeits- und feinteileren Produktions-, Logistik- und Nachfragestrukturen haben dem Straßengüterverkehr zu dieser herausragenden Stellung verholfen.

Die Entwicklung des Lkw-Verkehrs wurde ferner durch die Liberalisierung des nationalen und des europäischen Straßengüterverkehrs Mitte der 1990er Jahre unterstützt. Dieser wurde mit dem Auslaufen der Übergangsfristen für die Kabotage osteuropäischer Transportunternehmen - das ist die Erbringung inländischer Transportleistungen durch ausländische Verkehrsdienstleister - per 31. Dezember 2008 im Wesentlichen abgeschlossen. Heute bestreiten ausländische

3 MODALSPPLIT IM GÜTERVERKEHR 2008



Quelle: Verkehr in Zahlen 2009/2010

Lkw und Sattelzugmaschinen immerhin mehr als ein Drittel des Straßengüterfernverkehrs über 50 km in Deutschland.

Das Güterverkehrsaufkommen schienaffiner Massengüter wie Kohle, Stahl, Steine, Erden hat sich kaum verändert. Folglich stagnierte die absolute Verkehrsleistung der Eisenbahnen lange Zeit, was sich auch im Rückgang von Marktanteilen ausdrückte. Infolge gezielter Schieneninfrastrukturverbesserungen, verbesserter Interoperabilität zwischen den verschiedenen europäischen Eisenbahnsystemen und einer ebenfalls europaweit gestalteten, aber noch unvollständigen Eisenbahnliberalisierung konnte dieser langjährige Trend jedoch gebrochen werden.

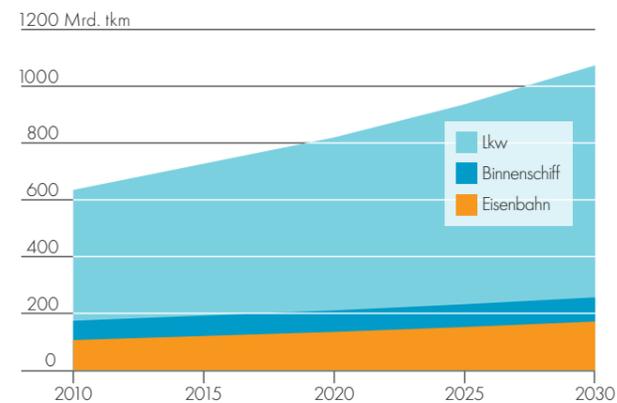
2006 erbrachte die Eisenbahn in Deutschland erstmals seit der Wiedervereinigung wieder eine Verkehrsleistung von 100 Mrd. Tonnenkilometern. So konnte sie in den vergangenen Jahren den Marktanteil sogar leicht erhöhen.

Die Binnenschifffahrt erbringt heute rund 10% der Güterverkehrsleistung; etwa vier Fünftel dieser Verkehrsleistung finden im verkehrsreichen Rheingebiet statt. In Europa kommt einzig die Binnenschifffahrt in den Niederlanden noch auf eine ähnlich hohe Verkehrsleistung. Da allerdings das Verkehrsvolumen der Binnenschifffahrt seit Jahren stagniert, fällt der Marktanteil des Binnenschiffs kontinuierlich. Rohrleitungen werden für die Beförderung von Rohöl, Mineralöl- sowie Chemieprodukten und Gasen genutzt; ihr Verkehrsleistungsanteil liegt zurzeit bei 2,5%. Der Luftfrachtverkehr entwickelt sich besonders dynamisch; die behandelte Tonnage fällt im modalen Vergleich jedoch kaum ins Gewicht.

Güterverkehrsprognosen und -abschätzungen

Da Verkehrsinvestitionen langfristig vorbereitet und geplant werden müssen, werden zusätzlich zu verkehrstatistischen Fakten und Trends Verkehrsprognosen über die wahrscheinliche künftige Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland erstellt. Zuständig für verkehrspolitische Maßnahmen und Programme ist das Bundesverkehrsministerium.¹⁴⁾ Zur Steuerung von Verkehrsinvestitionen erstellt es einen Bundesverkehrswegeplan und vergibt zur Bestimmung der entsprechenden Basisdaten Aufträge für mittel- bis langfristige Verkehrsprognosen.

4 PROGNOSE DER VERKEHRSLEISTUNG ZWISCHEN 2010 UND 2030 IN DEUTSCHLAND



Quelle: BVU/Intrapolan; eigene Berechnung

Die aktuelle, verkehrsträgerübergreifende Verkehrsprognose stützt sich auf das Basisjahr 2004. Unter Zuhilfenahme sozioökonomischer Leitdaten und weiterer Annahmen zur Verkehrsinfrastrukturpolitik werden Entwicklungen des Personen- und Güterverkehrs bis ins Jahr 2025 prognostiziert. Unter anderem werden dabei alle Projekte des vordringlichen Bedarfes des Bundesverkehrswegeplans 2003 als realisiert unterstellt, das heißt insbesondere ein bedarfsgerechter Ausbau der Infrastruktur des Kombinierten Verkehrs Straße/Schiene. Weiterhin werden spürbare Produktivitätsverbesserungen und niedrigere Nutzerkosten über alle Verkehrsträger angenommen.¹⁵⁾

14) Vgl. die Website des Bundesverkehrsministeriums www.bmvbs.de.

15) Vgl. BVU, Intrapolan, Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025, München/Freiburg, den 14. November 2007.

Die Verkehrsprognose 2025 geht davon aus, dass sich der Trend zu höheren Transportweiten weiter fortsetzen wird und die Transportintensität in Tonnenkilometer pro BIP-Einheit wie in der Vergangenheit weiter steigen wird; das heißt, eine Entkopplung von Wirtschafts- und Verkehrsleistungswachstum findet nicht statt. Die Ergebnisse der Güterverkehrsprognose sagen bis 2025 einen Anstieg der Transportleistung um 74% voraus, während das Transportaufkommen nur um 48% zulegt. Die Anteile der einzelnen Verkehrsmittel an der Verkehrsleistung bleiben weitgehend stabil – die Schiene legt um 65% zu und hält ihren Anteil im Modalsplit praktisch unverändert bei 17%, das Binnenschiff wächst um 26%, verliert aber Marktanteile und fällt auf etwa 9%.

Markant sind insbesondere die Entwicklung des Seehafeninterland- und Containerverkehrs, die sich im Betrachtungszeitraum nahezu verdreifachen. Der intermodale Verkehr auf der Schiene (Kombinierter Verkehr) wird sich mehr als verdoppeln und damit seinen Anteil von derzeit 27% auf 37% am Schienengüterverkehr erhöhen. Der Straßengüterfernverkehr erbringt 2025 eine Verkehrsleistung von 676 Mrd. Tonnenkilometern; das entspricht einem Anstieg um 84% gegenüber 2004. Etwa vier Fünftel des Verkehrsleistungswachstums entfallen danach auf den Lkw, dessen Anteil am Modalsplit 2025 dann bei 74% liegt. Der Straßengüternahverkehr legt dagegen nur um 11% zu.

Zur Fortschreibung langfristiger Verkehrsplanungen hat das Bundesverkehrsministerium des Weiteren Abschätzungen der Güterverkehrsentwicklung bis 2050 in Auftrag gegeben. Die Zwischenergebnisse der Abschätzungen für das Jahr 2030 bestätigen im Wesentlichen die Ergebnisse der Verkehrsprognose 2025. Die Güterverkehrsleistung in Tonnenkilometern wird danach bis 2030 um knapp 70%, bis 2050 um mehr als 100% steigen, wobei die Dynamik im Zeitraum 2030 bis 2050 etwas nachlässt.

Hervorzuheben ist die erwartete Verdreifachung des Transitverkehrs; mehr als ein Fünftel der Verkehrsleistung auf deutschen Infrastrukturnetzen 2050 wird reiner Durchgangsverkehr sein. Straße und Schiene verdoppeln ihre Transportleistung bis 2050 und legen im Modalsplit bis 2050 jeweils leicht zu auf 72 bzw. 19%. Drei Viertel aller Tonnenkilometer im Transit werden 2050 auf der Straße erbracht.¹⁶⁾

Abbildung 4 stellt abschließend die auf Basis der Verkehrsprognose 2025 bis 2030 weiter fortgeschriebenen Verkehrsleistungen der einzelnen Verkehrsträger (ohne Luftfracht und Rohrleitungsverkehr) für Deutschland dar. Die Gesamtverkehrsleistung der drei Hauptverkehrsträger steigt bis 2030 auf über 1.000 Mrd. Tonnenkilometer. Der Straßengüterverkehr verzeichnet den stärksten Anstieg und wird dann über 800 Mrd. Tonnenkilometer leisten. Die Vorausschätzung der Verkehrsleistung im Straßengüterverkehr bildet später die Grundlage für die Ermittlung der Lkw-Fahrleistungen, der effektiv auf der Straße gefahrenen Fahrzeugkilometer.

16) Vgl. Protrans, Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Schlussbericht, Basel, 31. Mai 2007.

Entwicklungen in der Europäischen Union

Ähnlich wie in Deutschland ist auch die Entwicklung des Verkehrs in der Europäischen Union durch einen starken Anstieg in den vergangenen Jahren gekennzeichnet. Im Zeitraum 1995 bis 2004 wies der Güterverkehr einen Zuwachs von 2,8% jährlich auf und übertraf damit auch hier das jährliche Wirtschaftswachstum. Und auch in der EU trägt der Straßengüterverkehr mit 44% den größten Anteil der Verkehrsleistung. Allerdings ist der Modalsplit der EU nur bedingt mit der nationalen Verkehrsstatistik vergleichbar, nimmt doch der Seeverkehr über kurze Strecken mit 39% im EU-Binnenhandel eine außerordentlich wichtige Rolle ein. Der Anteil der Bahn liegt bei etwa 10%. Das Binnenschiff kommt auf nur 3%, da nicht alle Mitgliedstaaten über leistungsfähige Wasserstraßen verfügen.

Zuletzt hat die EU-Kommission im Jahre 2006 ihre Verkehrsstrategie überprüft und aktualisiert; hierbei hat sie die Wachstumserwartungen des Weißbuches Verkehr von 2001 für den Zeitraum von 2000 bis 2020 leicht reduziert. Im Betrachtungszeitraum bis 2020 wird für den Güterverkehr in der EU-25 insgesamt eine Zunahme von etwa 50% unterstellt; das liegt etwa 10 Prozentpunkte unter den Erwartungen für das zentral gelegene Deutschland im Vergleichszeitraum. Straßengüterverkehr und Kurzstreckenseeverkehr würden in der EU mit 55 bzw. 59% am stärksten zulegen. Die Anteile der Verkehrsträger im EU-Modalsplit bleiben im Großen und Ganzen stabil.

Für die zukünftige Entwicklung des Verkehrs in Europa wird im Jahr 2010 ein neues Weißbuch erwartet, welches Strategie und Ziele der europäischen Verkehrspolitik nochmals grundlegend überarbeitet.¹⁷⁾ Hierzu wurde bereits im Jahre 2009 unter dem Titel TRANSvisions mit der Erstellung von EU-Verkehrsszenarien bis 2050 mit geringer Kohlenstoffintensität begonnen. Dort wird im Basiszenario ein Wachstum des gesamten Güterverkehrs ohne den Verkehr mit Seeschiffen für die EU-27 um 50% von 2.228 Mrd. Tonnenkilometern im Jahr 2005 auf 3.429 Mrd. Tonnenkilometer im Jahr 2030 prognostiziert.¹⁸⁾

1.3 WIRTSCHAFTSFAKTOR GÜTERVERKEHR

Güterverkehr ist Voraussetzung für wirtschaftliche Entwicklung. Güterverkehr ist aber auch selbst ein wichtiger Wirtschaftsfaktor in einer modernen Volkswirtschaft. Während von der Verkehrsstatistik detaillierte Angaben zu Güterverkehrsaufkommen und Güterverkehrsleistung bereitgestellt werden, müssen Daten zur wirtschaftlichen Leistung des Güterverkehrs aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung sowie aus Dienstleistungs-, Umsatzsteuer- und Beschäftigungsstatistiken entnommen werden.

In der amtlichen Wirtschaftszweigklassifikation wird der Güterverkehr mit dem Personenverkehr zur Verkehrsabteilung

17) Vgl. EU-Kommission, Mitteilung. Für ein mobiles Europa – Nachhaltige Mobilität für unseren Kontinent. Halbzeitbilanz zum Verkehrsweißbuch von 2001, Brüssel, den 22. Juni 2006, KOM(2006) 314 endgültig.

18) Vgl. Morton Steen Petersen et al., TRANSvisions. Report on Transport Scenarios with 20 and 40 Year Horizon. Final Report, Kopenhagen 2009, S. 113.

oder mit der Abteilung Nachrichtenübermittlung zu einem gemeinsamen Wirtschaftsabschnitt zusammengefasst. Darüber hinaus gehört der Güterverkehr sachlich zum größeren, aber noch weniger scharf abgegrenzten Logistikbereich; entsprechende Wirtschaftsstatistiken werden in der Regel durch zweckmäßige Summierung von relevanten Wirtschaftsgruppen erstellt und weisen meist eine recht große Spannweite auf. Grundsätzlich stellt sich die volkswirtschaftliche Bedeutung des Güterverkehrs wie folgt dar:

Im Verkehrssektor sind danach heute (2007) 87.600 Unternehmen tätig; in den Verkehrsunternehmen arbeiteten 2007 knapp 1,4 Mio. Beschäftigte; das sind ca. 3,6% aller Erwerbstätigen. Die Wirtschaftsleistung des Verkehrssektors liegt – ebenso wie Fahrzeug- und Maschinenbau – in der Größenordnung von 80 Mrd. Euro und bewegt sich damit ebenfalls zwischen 3,5 und 4% der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung bzw. des BIP.

Detailliertere Zahlen ergeben sich aus der Umsatzsteuerstatistik: Alle Unternehmen des Güter- und Personenverkehrs einschließlich Hilfs-, Neben- und Vermittlungstätigkeit erwirtschafteten im Jahr 2007 einen Umsatz von rund 200 Mrd. Euro. Zum Vergleich: Das entspricht etwa dem Umsatz der Chemieindustrie, des Maschinenbaus oder des Kfz-Handels oder etwa drei Fünfteln des Fahrzeugbaus in Deutschland. Die wichtigsten Umsatzbringer im Güterverkehr waren dabei in der Gruppe Landverkehr die Güterbeförderung im Straßenverkehr mit 35 Mrd. Euro sowie in der Gruppe Hilfs- und Nebentätigkeiten Speditionen mit über 60 Mrd. Euro. Unter den Verkehrszweigen nicht subsumiert werden dagegen die Paket- und Kurierdienste. Diese stehen mit einem Umsatz von etwa 30 Mrd. Euro für einen erheblichen Teil des gewerblichen Straßenverkehrs.¹⁹⁾

In der EU gibt es gegenwärtig (2007) rund 1,2 Mio. Verkehrsunternehmen, in denen 9,2 Mio. Personen bzw. 4,2% aller Erwerbstätigen beschäftigt sind; über 30% davon sind direkt für den Straßengüterverkehr tätig, nochmals knapp ein Viertel verrichtet Hilfs- und Nebentätigkeiten vor allem für den Warenverkehr. Gleichzeitig beläuft sich die Bruttowertschöpfung im Verkehr auf rund 440 Mrd. Euro, was ebenfalls etwa 3,5 bis 4% der EU-Wirtschaftsleistung entspricht.²⁰⁾ Der Verkehrssektor ist also sowohl in Deutschland als auch in der EU ein bedeutender Wirtschaftszweig.

Im Gegensatz zum Verkehrssektor geht die Logistik oder Güterverkehrslogistik über den Bereich des traditionellen Güterverkehrs weit hinaus. Zwar hat es in Transportwirtschaft und Speditionswesen schon immer transportvorbereitende und -ergänzende logistische Aktivitäten gegeben. Die logistischen Entwicklungen in Industrie und Handel verliefen in den vergangenen Jahren jedoch außerordentlich dynamisch.

19) Vgl. Statistisches Bundesamt, Verkehr in Deutschland 2006, Wiesbaden 2006; Statistisches Bundesamt, Der Dienstleistungssektor. Wirtschaftsmotor in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse von 2003 bis 2008, Wiesbaden 2009, S. 36-40; sowie Statistisches Bundesamt, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Wichtige Zusammenhänge im Überblick, Wiesbaden 2010, Tab. 5.

20) Vgl. Eurostat, Panorama of Transport 1990-2006, Luxemburg 2009, 6. Aufl., S. 121-136 sowie Eurostat, Strukturelle Unternehmensstatistik (SUS), Haupttabellen, NACE-Klassifikation 60 bis 63, unter: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>.

Heute hat sich die Logistik zu einer umfassenden inner- und zwischenbetrieblichen Querschnittsaufgabe entwickelt; ihr Ziel ist es, zu gewährleisten, dass das richtige Produkt zur richtigen Zeit in der richtigen Qualität am richtigen Ort ist, bei gleichzeitiger Minimierung der Gesamtkosten. Logistikunternehmen reichen heute vom einfachen Frachtführer, über Kontrakt- und Systemlogistiker bis zum unternehmensübergreifenden Supply Chain Management.²¹⁾

Angesichts breit gefächelter, dynamischer Logistikdienstleistungen ist der Logistikbereich deutlich weniger scharf abgegrenzt als der Verkehrssektor; noch schwieriger gestaltet sich entsprechend die Datenzusammenstellung. Immerhin wird der Umsatz der Logistikbranche in Deutschland heute auf annähernd 200 Mrd. Euro, die Zahl der Beschäftigten auf über 2,6 Mio. Personen geschätzt. Der deutsche Logistikmarkt gilt mit einem Anteil von etwa einem Fünftel als der größte der EU. Deutschland gehört heute zu den weltweit führenden Logistikstandorten. Im aktuellen Logistics Performance Index 2010 der Weltbank, einem umfassenden Logistik-Ranking von 155 Ländern, nimmt Deutschland erstmals Platz 1 ein.²²⁾

1.4 VERKEHRSTRÄGER IM VERGLEICH

Der Güterverkehr erfolgt mit den Verkehrsträgern Lkw, Güterzug, Flugzeug, Binnen- und Seeschiff sowie mittels Rohrleitungen. Die Wahl des Transportmittels durch die verladende Wirtschaft wird zum einen durch Gewicht und Volumen des zu versendenden Gutes, die technischen Voraussetzungen zur Verladung auf einen bestimmten Verkehrsträger, die zurückzulegende Transportweite und schließlich den Transportpreis des jeweiligen Dienstleisters bestimmt. Die Transportmittelwahl wird andererseits maßgeblich von den jeweiligen Stärken und Schwächen der einzelnen Verkehrsträger beeinflusst. Welche Kriterien die verladende Wirtschaft bei der Wahl des Verkehrsmittels in der Regel zugrunde legt, zeigt Tabelle 5.

Eine Sonderstellung unter den Verkehrsträgern nehmen Rohrleitungen ein; denn nachdem eine Transportverbindung mit privaten Investitionen hergestellt wurde, hat zugleich eine langfristige Festlegung auf diesen Verkehrsträger stattgefunden. Das Seeschiff besitzt für innerdeutsche Transporte keine Relevanz und spielt somit bei der Verkehrsträgerwahl nur bei einigen europäischen und beim außereuropäischen Güterverkehr eine Rolle.

Für die übrigen Transportmittel sind als Auswahlkriterien an erster Stelle zu nennen die Flexibilität, die Schnelligkeit sowie die Qualität der Transportdienstleistung. Bei der Qualität der Transportdienstleistung stehen Pünktlichkeit, Schadensfreiheit und die Schnelligkeit der Informationsweitergabe bei Abweichungen von einem abgestimmten Zeitplan als Qualitätsmerk-

male im Vordergrund. Häufig spielt für ein verladendes Unternehmen auch die Steuerung logistischer Abläufe neben der Abwicklung der reinen Transportdienstleistung eine Rolle, so zum Beispiel, wenn ein Dienstleister in Distributionsprozesse des Auftraggebers mit der Belieferung von Zwischenlagern und Endkunden eingebunden ist. Dann werden die nahtlose Zusammenarbeit bei der Informationsweitergabe und auch das Anbieten logistischer Zusatzleistungen – wie die Lagerung und Kommissionierung – bei der Auswahl des Transportdienstleisters und damit bei der Verkehrsmittelwahl ausschlaggebend.

Maßgeblichen Einfluss auf die Qualität einer Transportdienstleistung haben auch Infrastrukturdichte und -verfügbarkeit. Unter allen Verkehrsinfrastrukturen ist die Dichte des Straßennetzes am höchsten – 231.000 km überörtlichen Straßen stehen rund 41.000 km Eisenbahngleise sowie gut 7.000 km Wasserstraßen gegenüber.

Im Gegensatz zu Schiene und Wasser gibt es bei der Straße überdies so gut wie keine Erreichbarkeitsprobleme im direkten Haus-zu-Haus-Verkehr. Der Leistungsfähigkeit der Straßenverkehrsinfrastruktur stehen allerdings zum Teil hohe Auslastungsgrade gegenüber. So erreicht die durchschnittliche werktägliche Verkehrsstärke auf Bundesautobahnen heute bereits mehr als 50.000 Kraftfahrzeuge pro Tag – vor 20 Jahren waren es noch 10.000 Kfz weniger. Dabei liegt der Anteil von Güterkraftfahrzeugen auf Bundesautobahnen seit über 30 Jahren bei etwa 15%.

Ökologische Aspekte spielten bei der betriebswirtschaftlich ausgerichteten Verkehrsmittelwahl in der Vergangenheit eine eher untergeordnete Rolle. Mit immer strengeren Umweltregulierungen wie Abgasnormen, Umweltzonen, Verbrauchs- und CO₂-Emissionsvorschriften, aber auch aus Reputationsgründen gewinnen diese Kriterien jedoch zunehmend an Bedeutung.

Zudem verlangen viele Auftraggeber von ihren Kontraktoren heute umfangreiche Sicherheitsmaßnahmen und Fahrsicherheitstrainings, um die Verkehrssicherheit ihrer Transporte zu erhöhen. Die bisherigen Bewertungskriterien für Verkehrsträger werden damit nicht überflüssig. Im Gegenteil, die neuen Umwelt- und Sicherheitskriterien müssen zusätzlich erfüllt werden.

Infolge der spezifischen Leistungseigenschaften stehen die Verkehrsträger bei bestimmten Transporten im Wettbewerb zueinander. In Summe trifft der Straßengüterverkehr die Marktanforderungen aufgrund seiner Qualitätseigenschaften dabei am besten. Mehr noch, aufgrund veränderter Güterstrukturen hin zu höherwertigen Waren in kleineren Sendungsgrößen und durch die immer höheren Anforderungen moderner Logistikkonzepte befindet sich der Lkw auch in einer günstigen Position für künftige transportwirtschaftliche Aufgaben.

Andererseits kann ein einziger Verkehrsträger eine bestimmte Transportleistung oftmals gar nicht im Direktverkehr, also ohne Wechsel des Transportmittels erbringen, sei es aufgrund

5 KRITERIEN FÜR DIE WAHL VON TRANSPORTMITTELN

Kriterien	Straßengüterverkehr	Schiengüterverkehr	Binnenschifffahrt	Rohrleitungsverkehr	Luftfrachtverkehr
Flexibilität	sehr hoch ++	mittel 0	gering -	keine -	mittel 0
Schnelligkeit	hoch +	mittel 0	gering -	gering -	sehr hoch ++
Dienstleistungsqualität	hoch +	mittel 0	hoch +	sehr hoch ++	hoch +
Kundenorientierung	hoch +	mittel 0	mittel 0	-	mittel 0
Verfügbarkeit	hoch +	mittel 0	mittel 0	niedrig -	mittel 0
Massenleistungsfähigkeit	gering -	sehr hoch ++	sehr hoch ++	sehr hoch ++	sehr gering -
Infrastrukturdichte	sehr hoch ++	mittel 0	gering -	sehr gering -	sehr gering -
Infrastrukturknappheit	mittel 0	mittel 0	gering +	-	sehr gering +
Energieverbrauch	hoch bis mittel - 0	gering +	gering +	gering +	sehr hoch -
Umweltverträglichkeit	niedrig bis mittel - 0	hoch bis mittel + 0	hoch +	hoch +	niedrig -
Unfallhäufigkeit	mittel 0	gering +	sehr gering ++	sehr gering ++	sehr gering ++

Quelle: eigene Darstellung

natürräumlicher Gegebenheiten, sei es aus wirtschaftlichen Gründen, oder sei es mangels vorhandener Alternativen. So sind Bahn und Schiff bei langen Transportdistanzen von Massengütern und hohen relationsbezogenen Güterverkehrsleistungen wirtschaftlich sinnvoll nutzbar. Dagegen ist der Straßengüterverkehr unverzichtbar, um die sogenannte „letzte Meile“ bis zum Kunden zurückzulegen, selbst wenn ein Container mit dem Schiff oder mit dem Güterzug über eine lange Distanz transportiert worden ist.

Auch die Feinverteilung und die Sammlung von Gütern bzw. einzelnen Sendungen in einem bestimmten Gebiet bleibt in der Regel allein dem Straßengüterverkehr vorbehalten, da diese Transportdienstleistung die anderen Verkehrsträger aufgrund der weniger dichten Infrastruktur nicht leisten können.

In der Praxis wird daher ein Großteil der Güterverkehrstransporte über lange Distanzen als multi- bzw. intermodaler Transport durchgeführt. Multimodale Güterverkehre sind gebrochene Verkehre mit zwei oder mehr unterschiedlichen Verkehrsträgern. Beim intermodalen Transport werden Güter dabei zusätzlich in standardisierten Transporteinheiten bewegt. Ziel der Verkehrspolitik war lange Jahre ein kombinierter Güterverkehr, bei dem der Hauptlauf möglichst per Schiene oder Schiff und nur der Vor- und Nachlauf auf der Straße erfolgen sollten.

2006 hat die EU-Kommission das Konzept der Ko-Modalität (Co-Modality) entwickelt. Danach soll durch die effiziente Nutzung der einzelnen Verkehrsträger oder durch ihre Kombination unter Nutzung ihrer spezifischen Stärken eine optimale und nachhaltige Nutzung der Ressourcen erreicht werden.²³⁾

1.5 GÜTERVERKEHR UND LKW

Güterverkehr und Logistik sind außerordentlich dynamische Wirtschaftszweige. Ihre Dynamik wird zum einen getragen von wirtschaftlichem Wachstum, zum anderen von immer weiter ausgreifenden Beschaffungsstrategien, immer arbeitsteiligerer Fertigung, immer feinteiligerer Distribution sowie optimierten Logistikkonzepten.

Mit wachsender Wirtschaftsleistung wird der Güteraustausch, vor allem der grenzüberschreitende Güterhandel wieder deutlich, das heißt überproportional zulegen. Die Nachfrage nach Güterverkehrs- und Logistikdienstleistungen wird deshalb auch in den kommenden Jahren weiter stark wachsen, zumal in Deutschland mit seiner europäischen Zentrallage und seiner starken Exportorientierung.

Der Verkehrsträger Straße ist heute nicht nur ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Er besitzt auch in qualitativer Hinsicht Eigenschaften, die ihn in jedem modernen Güterverkehrssystem praktisch unersetzbar machen. Es verwundert daher nicht, dass sich der Lkw im Laufe der letzten 50 Jahre zum wichtigsten Verkehrsträger im Landverkehr entwickelt hat. Darüber hinaus gehen alle einschlägigen Verkehrsprojektionen davon aus, dass vom Lkw künftig – allein oder in Kombination mit anderen Verkehrsträgern – die größten Anteile des Güterverkehrswachstums übernommen werden.

Aber auch wenn dem Lkw unter allen Verkehrsträgern die besten Zukunftsperspektiven bescheinigt werden, bleibt er Kristallisationspunkt vieler Diskussionen, sei es um Ökologie, Energie, Klima oder sei es um die Zukunft unseres heutigen arbeitsteiligen Wirtschaftsmodells überhaupt. Alles gute Gründe, sich eingehender mit dem Straßengüterverkehr und seinen technologischen Perspektiven auseinanderzusetzen.

21) Vgl. Grosvenor E. Plowman, Elements of business logistics, Stanford 1964, 1. Aufl.
 22) Vgl. Philipp Ehmer, Stefan Heng, Eric Heymann, Logistik in Deutschland. Wachstumsbranche in turbulenten Zeiten, in: Deutsche Bank Research, Aktuelle Themen 432, Frankfurt/M., 2. Oktober 2008; Bundesregierung, Masterplan Güterverkehr und Logistik, Berlin 2008; Claus Korschinsky, Transport und Logistik. Erfolgsstrategien in bewegten Zeiten, IKB Information, Düsseldorf, Dezember 2009; World Bank, Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy, Washington 2010.

23) Vgl. EU-Kommission, Mitteilung. Für ein mobiles Europa – Nachhaltige Mobilität für unseren Kontinent, a.a.O., S. 4.



TYPEN, FLOTTEN, NEUZULASSUNGEN

Obgleich der Straßengüterverkehr nur einen Teil des gesamten Güterverkehrs abbildet, hat er sich funktionell inzwischen sehr stark ausdifferenziert. Deshalb spricht man in Verkehrswissenschaft und Verkehrswirtschaft auch von unterschiedlichen Verkehrsarten. Straßengüterverkehr findet mit motorisierten Kraftfahrzeugen statt; deshalb spricht man auch von Güterkraftverkehr. Ebenso verschieden wie Funktionen und Dienstleistungen im heutigen Straßengütertransport sind auch die im Güterverkehr eingesetzten Fahrzeuge.

Zunächst folgt ein kurzer Überblick über die wichtigsten Arten des Güterkraftverkehrs sowie der gängigen Fahrzeug-Klassifizierungen. Anschließend werden Fahrzeug-Flotten und Neuzulassungen in Europa sowie Deutschland betrachtet. Dabei werden sowohl die Gesamtzahlen als auch – soweit verkehrstatistisch möglich – Entwicklungen in den bedeutendsten Fahrzeugsegmenten untersucht.

2.1 VERKEHRSARTEN UND FAHRZEUGTYPEN

„Güterkraftverkehr ist die geschäftsmäßige oder entgeltliche Beförderung von Gütern mit Kraftfahrzeugen, die einschließlich Anhänger ein höheres zulässiges Gesamtgewicht als 3,5 Tonnen haben.“²⁴⁾ Vom gewerblichen Güterkraftverkehr ist der Werkverkehr, der vor allem von Bau, Industrie und Handel mit eigenem Personal für eigene Zwecke und als Hilfstätigkeit erfolgt, zu unterscheiden. Der Werkverkehr ist auch heute noch ein wichtiger Träger des Güterkraftverkehrs. Mit der Liberalisierung des gewerblichen Verkehrs und zunehmender Spezialisierung und Auslagerung von Logistikdienstleistungen ist der Anteil des Werkverkehrs am gesamten Straßengüterverkehr jedoch seit Jahren rückläufig. Sein Anteil am Güteraufkommen ist in nur zehn Jahren von knapp 50% bis auf 38% im Jahre 2008 gefallen; bei der Güterverkehrsleistung auf der Straße lag sein Anteil zuletzt (2008) bei 20,8 % bzw. 62,8 Mrd. Tonnenkilometern.²⁵⁾

24) Vgl. Güterkraftverkehrsgesetz §1.

25) Vgl. Bundesamt für Güterverkehr, Marktbeobachtungen Güterverkehr. Entwicklung des gewerblichen Güterkraftverkehrs und des Werkverkehrs deutscher Lastkraftfahrzeuge, Köln 2010, Tab. A1, S. 20 und DIW, Verkehr in Zahlen 2009/2010, Bundesverkehrsministerium (Hrsg.), Hamburg 2009, S. 240-247.

Traditionelle Domäne des Werkverkehrs ist der Straßengüternahverkehr – über kurze Wegstrecken, zum Beispiel zwischen zwei Werksstandorten eines Unternehmens. In der Verkehrstatistik gilt Straßengüterverkehr bis zu 50 km als Nahverkehr. Tatsächlich ist der Begriff des Güternahverkehrs in den letzten Jahren jedoch zunehmend aufgeweitet worden. Obgleich der Straßengüternahverkehr nur Kurzstreckenverkehr ist, macht er rund 9,8% der Güterverkehrsleistung per Lkw aus. Vom Straßengüternahverkehr ist der Straßengüterfernverkehr über Entfernungen ab 150 km zu unterscheiden. Er nahm in den letzten Jahren stark zu; sein Güterverkehrsanteil liegt heute bei 71,8%. Straßengüterverkehr über mittlere Transportdistanzen wird auch Regionalverkehr genannt.

Güterkraftwagen sind Nutzfahrzeuge zum Gütertransport; sie sind abzugrenzen von Kraftomnibussen zum gewerblichen Transport von Personen und sonstigen Kraftfahrzeugen. Darunter fallen unter anderem Müllwagen, Polizei-, Feuerwehr-, Zivilschutz- und andere Kraftfahrzeuge. Sie sind häufig auf Lkw-Plattformen hergestellt und werden deshalb vereinzelt den Nutzfahrzeugen hinzugerechnet. Wenn im Rahmen dieser Studie von Nutzfahrzeugen die Rede ist, geht es jedoch ausschließlich um Nutzfahrzeuge für den Gütertransport.

Die Güterkraftfahrzeuge werden im allgemeinen Sprachgebrauch als Last(kraft)wagen oder Lkw bezeichnet bzw. mit diesen gleichgesetzt. Diese lassen sich prinzipiell in drei Gruppen einteilen: Zunächst muss zwischen Lkw und Sattelzugmaschinen unterschieden werden. Während Lkw die Ladung auf der eigenen Ladefläche bewegen, sind Sattel-

6 ÜBERSICHT DER FAHRZEUGKLASSEN

		Zulässiges Gesamtgewicht	Typisches Einsatzgebiet
	Leichte Nutzfahrzeuge (LNF) (N1)	bis unter 3,5 t	Dienstleistungs- und Lieferfahrzeug
	Leichte Lkw (N1)	ab 3,5 bis unter 7,5 t	Auslieferung im Nahverkehr
	Schwere, nicht mautpflichtige Lkw (N2)	ab 7,5 bis unter 12 t	Auslieferung im Regionalverkehr, Transport von Volumengütern
	Schwere Lkw (N3)	ab 12 t	Als Motorwagen eines Gliederzuges im Güterfernverkehr, Baustellenverkehre
	Sattelzugmaschinen (SZM) (in der Regel N3)	in der Regel bis 40 t oder 44 t	Güterfernverkehr

Quelle: eigene Darstellung

schlepper oder Sattelzugmaschinen bauartbedingt nicht selbst zum Transport der Güter bestimmt, sondern tragen nur das Gewicht des Sattelauflegers. Sattelzugmaschinen bilden deshalb eine eigene Fahrzeugkategorie. Zusätzlich sind Lastzüge – auch als Glieder- oder Hängerzüge bezeichnet – als eine weit verbreitete Lkw-Fahrzeugkombination zu nennen. Eine solche Kombination setzt sich zusammen aus einem Lkw als Zugfahrzeug – auch Motorwagen genannt – und einem ebenfalls Ladung transportierenden Anhänger. Das Haupteinsatzgebiet der Sattel- und Gliederzüge ist der Fernverkehr. Unterschiedliche Ausstattungen und Aufbauten eröffnen den Fahrzeugen ein breites Einsatzspektrum.

Als dritte Gruppe sind die leichten Nutzfahrzeuge unter 3,5 Tonnen zu nennen, die sich zu einem bedeutenden Anteil aus Pkw-ähnlichen Fahrzeugen zusammensetzt. Auch sie werden den Lkw zugerechnet. Aufgrund ihrer gewachsenen Bedeutung, insbesondere bei der Warenauslieferung, werden sie im Weiteren als eigene, güterverkehrsrelevante Fahrzeugkategorie betrachtet.

In der amtlichen Verkehrs- und Fahrzeugstatistik werden Nutzfahrzeuge nach ihrem zulässigen Gesamtgewicht klassifiziert. Das zulässige Gesamtgewicht steht dabei für die Summe aus Leergewicht eines Fahrzeugs oder Fahrzeugkombination zuzüglich maximal zulässiger Zuladung. Im Folgenden beziehen sich alle Gewichtsangaben stets auf das zulässige Gesamtgewicht (zGG).

In Deutschland werden Güterkraftfahrzeuge heute grob in vier Gewichtsklassen unterteilt (siehe Tabelle 6).²⁶⁾ Die einzelnen Klassen gehen hervor aus historischen und aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen für den Fahrzeugbetrieb (Führerscheinklasse, Lenk- und Ruhezeiten, Mautpflicht). Weitere Unterscheidungen betreffen Achszahl und -gewicht sowie die Ausmessungen der Fahrzeuge. Im Lauf der Jahre nahmen Größe und Gewicht der Fahrzeuge immer weiter zu. Die „Königsklasse“ des Straßengüterverkehrs wird heute vom 40-Tonner mit maximal 18,75 Metern Länge definiert. Zusätzlich zu den Gewichtsklassen werden Sattelzugmaschinen aufgrund ihrer technischen Besonderheit in der Verkehrs- und Fahrzeugstatistik als gesonderte Klasse ausgewiesen.

Darüber hinaus gibt es eine gröbere internationale Klassifizierung N1 bis N3 für Nutzfahrzeuge: N1 für Fahrzeuge bis zu 3,5 Tonnen, N2 für bis zu 12 Tonnen und N3 für über 12 Tonnen zulässigen Gesamtgewichts. Darüber hinaus existieren weitere Klassifizierungen der Fahrzeuge nach ihrem Gesamtgewicht, die jedoch nicht harmonisiert oder einheitlich in Europa verfolgt werden.

2.2 NUTZFAHRZEUGE IN EUROPA

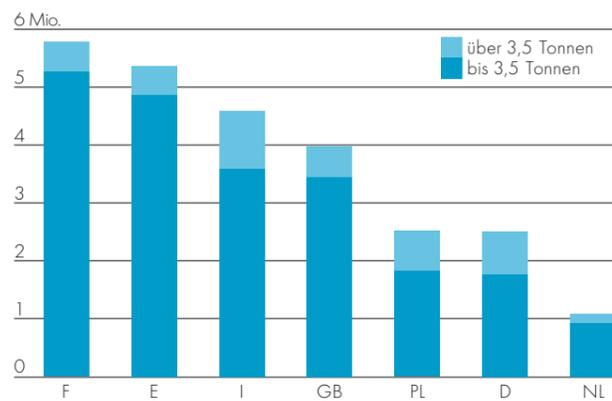
In der EU ist in den vergangenen eineinhalb Jahrzehnten ein europäischer Binnenmarkt für Verkehrsdienstleistungen vor allem im Straßengüterverkehr entstanden. Grenzüberschreitender Güterkraftverkehr, Transitverkehre, Kabotagefahrten

gehören zum alltäglichen Erscheinungsbild im Gütertransport auf Deutschlands Straßen. Doch nicht nur der Güterkraftverkehr, auch die Automobilwirtschaft und -produktion Deutschlands sind europaweit organisiert und tief integriert. Für eine bessere Einschätzung der Perspektiven des motorisierten Straßengüterverkehrs in Deutschland empfiehlt sich daher zunächst ein Blick auf die Fahrzeugbestände und Neuzulassungen in der EU bzw. der größten europäischen Nachbarländer.

Fahrzeugbestand

Der Bestand an Nutzfahrzeugen in der EU-27 belief sich am 1. Januar 2008 auf ca. 33 Mio. Einheiten. Dabei wird die europäische Nutzfahrzeugflotte mit 27 Mio. Einheiten oder 82% von leichten Nutzfahrzeugen dominiert. Weniger als ein Fünftel oder 6 Mio. Fahrzeuge gehören der Fahrzeugklasse über 3,5 Tonnen an. Den größten Fahrzeuggesamtbestand weisen Frankreich, Spanien und Italien auf. Deutschland liegt mit 2,5 Mio. Fahrzeugen hinter Großbritannien und Polen an sechster Stelle:

7 GRÖSSTE NUTZFAHRZEUGFLOTTEN IN DER EU (2008)

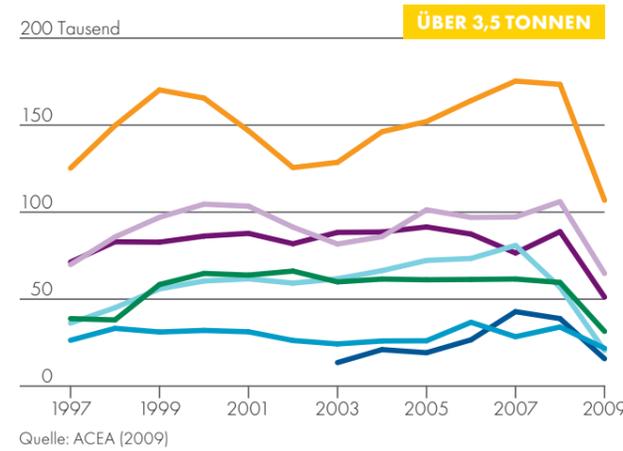
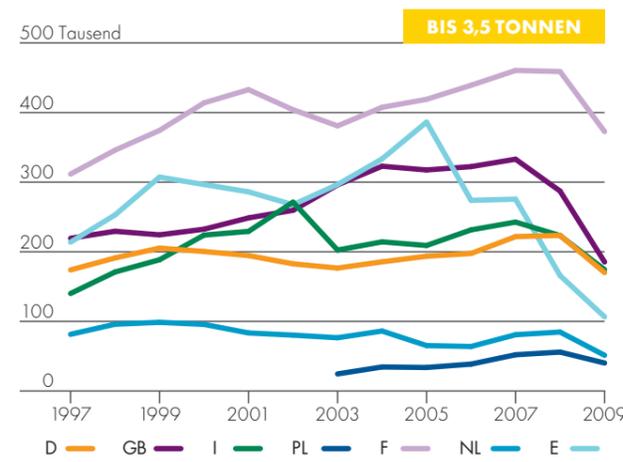


Quelle: Eurostat (2009); eigene Berechnung

Bei den Nutzfahrzeugen über 3,5 Tonnen steht Deutschland mit 738 Tsd. Fahrzeugen hinter Italien und vor Polen an zweiter Stelle. Allerdings ist das Nutzfahrzeugsegment über 3,5 Tonnen sehr breit definiert, sodass daraus kaum Rückschlüsse auf Größe und Leistungsfähigkeit der jeweiligen Länderflotten im Straßengüterfernverkehr möglich sind.

Die uneinheitliche länderspezifische Zulassungspraxis von Nutzfahrzeugen wird auch in den starken Unterschieden des Verhältnisses von leichten Nutzfahrzeugen zu Lkw und Sattelzugmaschinen über 3,5 Tonnen der einzelnen Länder deutlich. Während für Deutschland und Polen das Verhältnis ca. 70:30 beträgt, weisen Frankreich, Spanien, Großbritannien ein Verhältnis von mehr als 85:15 auf. Zudem enthalten die Bestandszahlen teilweise Fahrzeuge der Kategorie sonstige Kraftfahrzeuge. Darunter fallen Müllwagen, Polizei-, Feuerwehr-, Zivilschutz- und andere Kraftfahrzeuge. Diese werden in der nationalen Fahrzeugstatistik für Deutschland jedoch wiederum getrennt ausgewiesen.

8 NEUZULASSUNGEN VON LKW IN AUSGEWÄHLTEN LÄNDERN EUROPAS

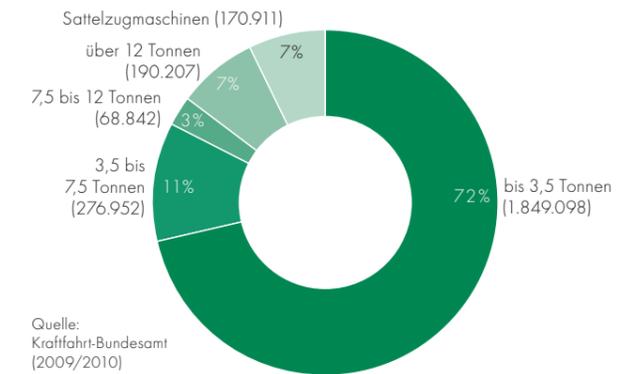


Neuzulassungen

Die Zulassungszahlen für Güterkraftfahrzeuge spiegeln – weit stärker als die Bestandszahlen – den stark von der wirtschaftlichen Entwicklung abhängigen Transportmarkt wider. Hier hat die Finanz- und Wirtschaftskrise deutliche Spuren hinterlassen. Im letzten Berichtsjahr 2009 lagen die Neuzulassungen von Nutzfahrzeugen in der EU-27 bei 1,7 Mio. Einheiten; im letzten Normaljahr 2007 waren es noch rund 2,9 Mio. Neufahrzeuge.

Über alle Fahrzeugklassen verzeichnete Frankreich im Jahre 2007 die höchsten Neuzulassungszahlen mit 557 Tsd. Neufahrzeugen; an zweiter Stelle lag Großbritannien mit 409 Tsd. Einheiten. An dritter Stelle folgte bereits Deutschland mit knapp 400 Tsd. Nutzfahrzeugen. Spanien und Italien, deren Bestand größer als der Deutschlands ist, wiesen dagegen geringere Neuzulassungen in Höhe von 356 Tsd. und 304 Tsd. Fahrzeugen aus. Im Jahre 2009 sind die Neuzulassungszahlen in der EU-27 um über 1 Mio. Fahrzeuge zurückgegangen. Sowohl in Deutschland als auch in Frankreich haben sich die Neuzulassungen um mehr als 100 Tsd. reduziert, sodass Deutschland trotz deutlichen Rückgangs mit 276 Tsd. Nutzfahrzeugen hinter Frankreich mit 437 Tsd. Fahrzeugen zu den größten Nutzfahrzeugmärkten innerhalb der EU zählt.

9 BESTAND LKW UND SATTELZUGMASCHINEN IN DEUTSCHLAND AM 1.1.2010



Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (2009/2010)

Betrachtet man die Neuzulassungen getrennt nach Fahrzeugen über 3,5 und unter 3,5 Tonnen, zeigt sich ein anderes Bild. Zwar stellen auch bei den Neuzulassungen leichte Nutzfahrzeuge mit durchschnittlich 75% den größten Anteil aller Segmente. Während die überwiegende Anzahl der Länder einen Anteil bei leichten Nutzfahrzeugen von 70 bis 85% aufweisen, liegt er in Deutschland und Polen – jeweils einschließlich sonstiger Fahrzeuge – wesentlich geringer bei nur 55%. Bei den Lkw und Sattelzugmaschinen über 3,5 Tonnen ist Deutschland jedoch der mit Abstand größte Fahrzeugmarkt. Der deutsche Anteil an den europäischen Neuzulassungen lag in den letzten Jahren bei über einem Viertel (vgl. Abbildung 8).

2.3 NUTZFAHRZEUGE IN DEUTSCHLAND

Fahrzeugbestand

Am 1. Januar 2010 betrug der gesamte Fahrzeugbestand in Deutschland gut 2,5 Mio. Nutzfahrzeuge.²⁷⁾ Die leichten Nutzfahrzeuge stellten mit 1,8 Mio. Einheiten oder 72% den größten Anteil der deutschen Flotte; gefolgt von den leichten Lkw bis 7,5 Tonnen mit 11%. Mit knapp 69 Tsd. Fahrzeugen und 3% machen die nicht mautpflichtigen schweren Lkw bis 12 Tonnen die kleinste Klasse aus. Die häufig in Lastzügen eingesetzten schweren Lkw über 12 Tonnen und Sattelzugmaschinen sind beide mit rund 7% in etwa gleich stark vertreten. Ihre absolute Anzahl beträgt 190 Tsd. Lkw und 171 Tsd. Sattelzugmaschinen (vgl. Abbildung 9).

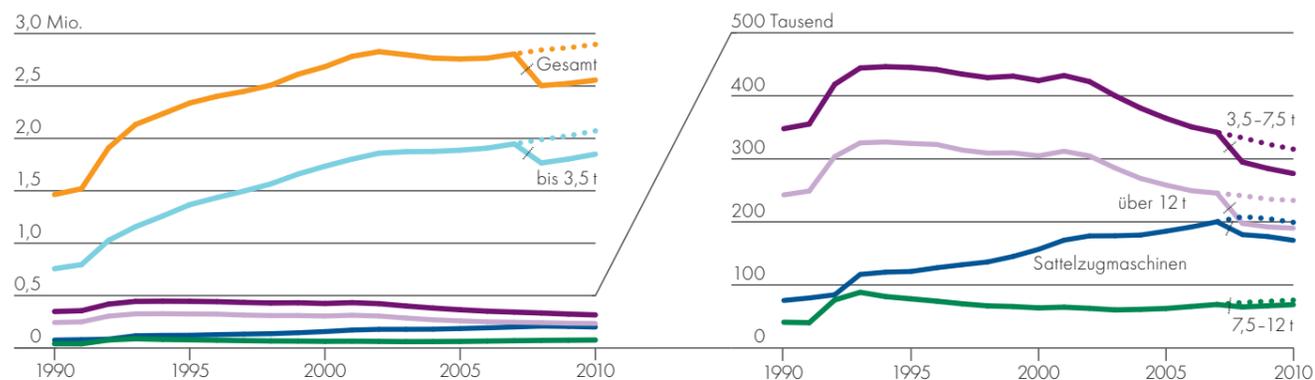
Der Fahrzeugbestand hat bis 2002 ein ständiges Wachstum erfahren. Seitdem ist jedoch eine Seitwärtsbewegung mit nur leicht ansteigenden Bestandszahlen zu verzeichnen. Aufgrund einer veränderten Zählungssystematik weist die Bestandsstatistik zudem zur Jahreswende 2007/08 einen Bruch auf. Vorübergehende Stilllegungen und Außerbetriebsetzungen von Fahrzeugen am Stichtag – zum Beispiel wegen Saisonbetriebs oder Wiederverkaufs – werden seitdem nicht mehr zum Bestand gerechnet. Hierdurch wird der Fahrzeugbestand ab 2008 um bis zu 12% niedriger ausgewiesen.²⁸⁾

27) Ohne sonstige Fahrzeuge; in der nationalen Statistik können die Nutzfahrzeuge ohne die sonstigen Fahrzeuge betrachtet werden.

28) Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt, Der Fahrzeugbestand am 1.1.2008, Pressemitteilung Nr. 4/2008, Flensburg, 23.1.2008 sowie Ulrich Borchers, Fachartikel: Alter der Fahrzeuge, Stand 3.12.2008, Kraftfahrt-Bundesamt (Hrsg.), Flensburg, 21.4.2009.

26) Vgl. Straßenverkehrszulassungsverordnung § 29, Anlage VIII.

10 ENTWICKLUNG DES BESTANDES VON LKW UND SATTELZUGMASCHINEN IN DEUTSCHLAND AB 2007 VERÄNDERTE BERECHNUNGSGRUNDLAGE



Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (1990-2010)

Prinzipiell erbringen jedoch auch vorübergehend außer Betrieb genommene Fahrzeuge Fahrleistungen im Güterverkehr. Zudem liegen für längerfristige Trendanalysen bislang zu wenige Werte vor. Um dennoch eine eingeschränkte Vergleichbarkeit der Bestandszahlen ab 2008 mit früheren Zahlen zu ermöglichen, wurden für die Jahre 2008 und 2009 die Bestandsveränderungen auf Basis der Werte der alten Systematik fortgeschrieben. Für 2009 würden sich nach bisheriger Zählung knapp 2,9 Mio. Nutzfahrzeuge ergeben; darunter 2,7 Mio. Lkw und 205 Tsd. Sattelzugmaschinen. Der geschätzte Fahrzeugbestand liegt damit insgesamt um etwa 340 Tsd. Einheiten höher. Siehe auch Abbildung 10, die jedoch nicht vergleichbar ist mit Abbildung 9.

Während sich der Gesamtbestand in den letzten Jahren sehr stabil entwickelt hat, verläuft die Bestandsentwicklung der Fahrzeugklassen zum Teil sehr unterschiedlich. Hier erlaubt erst die Betrachtung der einzelnen Klassen im Zeitverlauf eine konkrete Analyse und Interpretation: Zunächst einmal hat sich der Gesamtbestand an Nutzfahrzeugen in Deutschland – nach bisheriger Zählweise – von etwa 1,5 Mio. Fahrzeugen auf annähernd 3 Mio. Einheiten in den vergangenen 20 Jahren fast verdoppelt. Die dynamischste Entwicklung verzeichneten die leichten Nutzfahrzeuge, deren Bestand sich von etwa 800 Tsd. um 1990 auf etwa 2 Mio. Fahrzeuge im Jahr 2009 mehr als verdoppelte.

Der Bestand leichter Lkw über 3,5 bis 7,5 Tonnen sinkt seit 2001 mit abnehmender Geschwindigkeit um jährlich 10.000 bis 20.000 Fahrzeuge. Dies entspricht einer jährlichen Abnahme von 2,5 bis 5%, sodass leichte Lkw nur noch gut 10% des Bestandes ausmachen. Die Fahrzeuge dieser Größenklasse – lange Jahre das klassische Auslieferungsfahrzeug im Straßengüterverkehr – werden jedoch zunehmend durch die leichten Nutzfahrzeuge verdrängt, die aufgrund anderer Regelungen der Höchstgeschwindigkeit, Fahrerlaubnis sowie Lenk- und Ruhezeiten als effizienter und flexibler gelten.

Die nach der Anzahl kleinste Fahrzeugklasse mit knapp 3% Bestandsanteil sind schwere Lkw über 7,5 bis 12 Tonnen, die nur für ausgewählte Güter einsetzbar sind und somit nicht die

Einsatzflexibilität und Effizienz wie Glieder- und Sattelzüge erreichen können. Ihren höchsten Bestand erreichte diese Klasse 1993 mit 88.411 Fahrzeugen, das entsprach gut 4% des Bestandes. Nach dem Absinken auf 60.502 Fahrzeuge zum 1. Januar 2003 steigt die Anzahl seit 2004 wieder kontinuierlich um durchschnittlich 3,5% jährlich an, zu einem großen Teil sicherlich hervorgerufen durch die Mautfreiheit dieser Fahrzeuge.

Mit 326.912 Fahrzeugen und 15% des Fahrzeugbestandes haben schwere Lkw über 12 Tonnen, die im Gliederzug oder als Solofahrzeug eingesetzt werden, ihr Maximum 1994 erreicht und sind seitdem mit einer kurzen Bestandserhöhung im Jahr 2000 kontinuierlich gesunken. Ab 2001 hat sich der Bestand um geschätzte 76.000 Fahrzeuge, das heißt um rund ein Viertel reduziert und macht damit heute nur noch 8% des Gesamtbestandes aus. Da in anderen europäischen Ländern Gliederzüge nur eine geringe Bedeutung haben, dürfte ein Grund dafür in der nur mit Sattelzügen zu bewältigenden Containerisierung des Verkehrs liegen.

Der Bestand an Sattelzugmaschinen hat sich seit Anfang der 1990er Jahre auf etwa 200 Tsd. Einheiten fast verdoppelt und nimmt weiterhin zu. Er macht heute 7% des Gesamtbestandes aus. Die Sattelzugmaschinen nehmen damit den Hauptanteil am Wachstum der Transportleistung im Straßengüterverkehr auf. Sie sind der Hauptträger des grenzüberschreitenden Straßentransports. Daher müssen sie auch als Bestandteil der europäischen Fahrzeugflotte für den internationalen Güterverkehr gesehen werden.

Das Durchschnittsalter aller Lkw hat seit Mitte der 1990er stetig zugenommen von 6,5 auf 7,9 Jahre 2006 und 2007. Die deutliche Reduzierung des Durchschnittsalters um 0,4 Jahre auf 7,5 Jahre für 2008 und 2009 ist durch die Umstellung der Statistik im Jahr 2007 bedingt. Hier kam es besonders zu einem Einbruch bei den Fahrzeugen älter als 5 Jahre, die verstärkt nur saisonal eingesetzt und häufiger veräußert werden. Das Durchschnittsalter der Sattelzugmaschinen ist hingegen tendenziell gesunken von über 5 auf 4,4 Jahre (2007) bzw. bedingt durch die Statistikumstellung auf unter

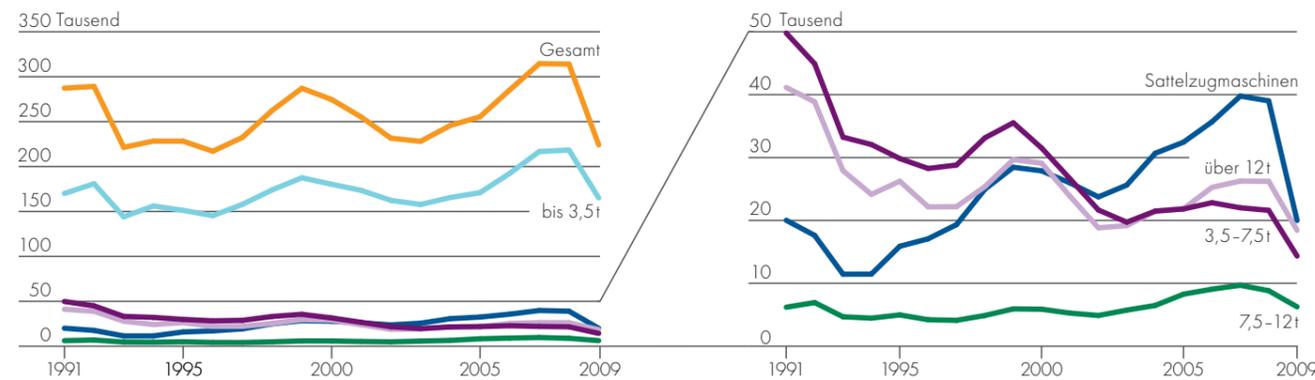
4 Jahre. Nach der Umstellung kam es von 2008 zu 2009 zu einer weiteren „Verjüngung“ der Fahrzeuge von 3,9 auf 3,8 Jahre, insbesondere durch Außerbetriebsetzungen der Fahrzeuge mit einem Alter von über 5 Jahren, deren Nutzung in der Erstverwendung dann häufig beendet ist. Verstärkt wurde dieser Effekt durch Spreizung der schadstoffklassen-abhängigen Lkw-Maut.

Betrachtet man weiterhin nicht nur das Durchschnittsalter, sondern auch die Entwicklung der Altersstruktur des Nutzfahrzeugbestands genauer, zeigt sich, dass es in der Klasse der leichten Lkw bis 7,5 Tonnen einen wachsenden Anteil von überdurchschnittlich alten Fahrzeugen gibt. Gut 40% der Fahrzeuge sind zehn Jahre und älter. Diese heben nicht nur den Altersdurchschnitt dieser Fahrzeugklassen. Dort findet mit 7,5% Erneuerung pro Jahr nur in einem sehr geringen Teil des Bestands eine kontinuierliche Flottenerneuerung statt. Mit

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. Der Verlauf aller Neuzulassungen wird auch hier wiederum durch die leichten Nutzfahrzeuge bestimmt, deren Anteil von 60% auf heute 74% zugenommen hat. Während die Neuzulassungs-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 Neuzulassungen der Sattelzüge in derselben Form zu.

Im Jahr 2009 führte die Finanz- und Wirtschaftskrise zu einem Einbruch des Neuzulassungsniveaus über alle Fahrzeugklassen. Nachdem im Jahre 2008 noch 315 Tsd. Neufahrzeuge in Deutschland zugelassen wurden, waren es 2009 nur noch

11 NEUZULASSUNGEN VON LKW UND SATTELZUGMASCHINEN



Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (1990-2009)

Ausnahme der Sattelzugmaschinen, deren Bestand sich jährlich zu mehr als einem Fünftel erneuert, haben die verbleibenden Klassen eine vergleichbare Altersstruktur. Der Anteil an Fahrzeugen ab zehn Jahren beträgt ca. ein Viertel des Bestandes.

Aufgrund der Wirtschafts- und Finanzkrise ist davon auszugehen, dass es zu einer Bestandsabnahme kommt und sich der Nutzfahrzeugbestand dann von einem geringeren Niveau aus weiter entwickelt. Wenn man die Entwicklung des Gesamtbestands auf Basis der Vergangenheitswerte von 1992 bis 2010 in die Zukunft extrapoliert, ergäben sich für 2030 nach bisheriger Zählsystematik etwa 3 Mio., nach neuer Systematik 2,7 Mio. Fahrzeuge und damit ein geringfügig höherer Bestand gegenüber heute. Externe Faktoren, die sich in der Vergangenheit bislang nicht gezeigt haben, könnten den Bestand darüber hinaus jedoch nachhaltig beeinflussen. Auch ist zu berücksichtigen, dass mit einer weiteren Internationalisierung des Straßengüterverkehrs ausländische Flottenbestände eine wichtige Rolle spielen werden.

Neuzulassungen

Die Neuzulassungen sind geprägt von fortlaufenden Zyklen ca. zehnjähriger Dauer. Die letzten Hochpunkte lagen in den

224 Tsd. Das war ein Minus von 28,7%. Historisch ist der starke Rückgang 2008/09 allenfalls mit dem Rückgang der Neuzulassungen 1992/1993 vergleichbar.

Allerdings unterscheidet sich die Entwicklung in den einzelnen Fahrzeugklassen zum Teil erheblich. Während die leichten Nutzfahrzeuge nur um etwa ein Viertel zurückfielen, verzeichneten Sattelzugmaschinen Einbußen von knapp der Hälfte. Unverändert machen leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 Tonnen mit ca. 74% den größten Anteil der Neuzulassungen aus. Durch einen überproportional starken Rückgang reduziert sich der Anteil der Sattelzüge von über lange Jahre konstanten 12% auf unter 9% aller Neuzulassungen.

Zukünftig kann davon ausgegangen werden, dass die gegenwärtig niedrigen Neuzulassungen wieder ansteigen werden. Langfristig werden die durchschnittlichen Neuzulassungen voraussichtlich auf über 300 Tsd. Fahrzeuge ansteigen. Dabei werden die jährlichen Neuzulassungszahlen weiter stark schwanken. Dabei 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.



STRASSENGÜTERVERKEHR UND UMWELT

Die Zahl der Nutzfahrzeuge ist in den vergangenen Jahren ebenso dynamisch gewachsen wie die Güterverkehrsleistung und die Fahrleistungen im Gütertransport. Straßengüterverkehr ist Voraussetzung für modernes Wirtschaften, für arbeitsteilige Produktion und für Handel. Es liegt nahe, dass die im Straßengüterverkehr eingesetzten Kraftfahrzeuge deutlich größer und schwerer als Pkw sind. Sie brauchen daher mehr Platz und verursachen mit ihrem höheren Gewicht zum Teil deutlich höhere Infrastrukturkosten. Lkw und Sattelzugmaschinen sind lauter, verbrauchen mehr Energie, emittieren mehr Luftschadstoffe und Treibhausgasemissionen als andere Fahrzeuge. Und aufgrund ihres Bruttogewichts unterliegen sie höheren Sicherheitsanforderungen im Straßenverkehr.

Der Nutzen von Lkw, Sattelzügen und leichten Nutzfahrzeugen für die Güterverteilung und die Versorgung der Bevölkerung ist unbestritten. Doch stehen ihm auch Nachteile gegenüber. Die gerechte Anlastung von Wegekosten und externen Kosten, Effizienzmaßnahmen und alternative Energieoptionen ebenso wie die wachsenden CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs werden heute intensiv diskutiert.²⁹⁾ Doch wohl kaum ein Thema hat die im Straßengüterverkehr eingesetzten Antriebstechnologien und Kraftstoffe in den vergangenen Jahren derart verändert wie die Luftreinhaltepolitik, deren Anforderungen immer strikter wurden. Dies war ein wichtiger Treiber für die starke qualitative Änderung von Antriebs- und Fahrzeugtechnik, aber auch Kraftstoffen.

In diesem Kapitel sollen zunächst die relevanten Luftschadstoffe des Straßengüterverkehrs behandelt werden. Ergänzend dazu werden die bedeutendsten Regulierungen für die Luftreinhaltung sowie der Beitrag des Straßengüterverkehrs zu den Luftschadstoffemissionen anhand einiger Eckdaten vorgestellt. Danach werden die wichtigsten Regulierungen für verkehrsbedingte Quellemissionen, die Möglichkeiten ihrer technischen Implementierung sowie hierbei auftretende Zielkonflikte diskutiert.

Abschließend werden Trends bei der Marktdurchdringung neuer emissionsmindernder Technologien über Neuzulassungen und Veränderungen in der Nutzfahrzeugflotte analysiert und ein mittelfristiger Ausblick auf die weitere Entwicklung vorgenommen.

Die Themen Lärm, externe Kosten und Sicherheit stellen ebenfalls wichtige Umweltaspekte des Straßengüterverkehrs dar. Ihr Zusammenhang mit Antriebs- und Motortechnik ist jedoch weniger unmittelbar. Sie werden im Folgenden nicht weiter behandelt. Energie- und CO₂-bezogene Aspekte des Straßengüterverkehrs folgen in den nächsten beiden Kapiteln.

3.1 LUFTQUALITÄT UND STRASSENVERKEHR

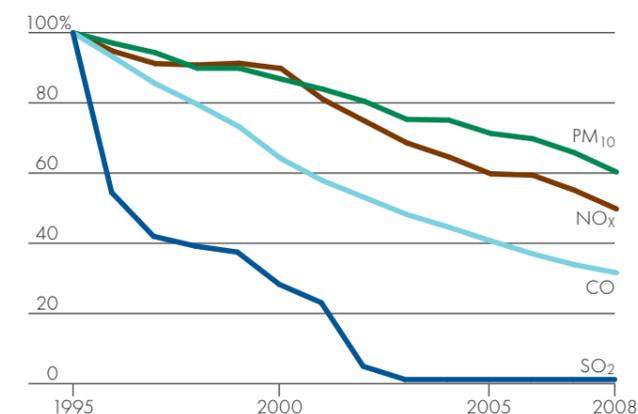
Beim Einsatz von Kraftstoffen in Verbrennungsmotoren werden Schadstoffe freigesetzt; zum einen handelt es sich dabei um Luftschadstoffe, die sich direkt oder indirekt auf die lokale bzw. regionale Luftqualität auswirken; zum anderen entsteht bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂), ein global wirkendes Klimagas. Die Emission von Luftschadstoffen führt zu erhöhter Konzentration in der Atmosphäre und kann sich negativ auf Umwelt und

menschliche Gesundheit auswirken. Luftreinhaltung gehört deshalb seit Jahren zu den Hauptfeldern der nationalen und europäischen Umweltpolitik.

So bildet die Verbesserung der Luftqualität einen Schwerpunkt des Umweltaktionsprogramms 2002-2012 der EU. 2005 wurde als erste thematische Strategie des 6. EU-Umweltaktionsprogramms eine Strategie zur Luftreinhaltung angenommen. Danach sollten in der EU bis 2010 einheitliche Luftqualitätsstandards festgelegt werden. Wichtigster Baustein dieser Strategie ist die europäische Luftqualitätsrichtlinie (siehe Erläuterung EU-Luftqualitätspolitik auf der nächsten Seite).³⁰⁾

Zusätzlich zu den in der EU-Luftqualitätsrichtlinie festgelegten Luftqualitätsstandards wurden quellbezogene Emissionsvorschriften erlassen – so auch für den Verkehrsbereich. Diese legen zum einen umweltbezogene Spezifikationen für Kraftstoffinhaltsstoffe fest und begrenzen zum anderen die wichtigsten Luftschadstoffe in den Abgasemissionen – deshalb auch limitierte Schadstoffe, das heißt diese Luftschadstoffe sind relevant für die Luftreinhaltung.

12 ENTWICKLUNG AUSGEWÄHLTER EMISSIONEN DES STRASSENVERKEHRS



Quelle: Umweltbundesamt (2010); eigene Berechnungen

Trotz steigender Fahrleistungen konnten die verkehrsbedingten Luftschadstoffemissionen in den vergangenen Jahren deutlich verringert werden. Den stärksten Rückgang verzeichneten seit Mitte der 1990er Jahre die Schwefeldioxidemissionen (SO₂) mit minus 99%. Aber auch andere Schadstoffemissionen konnten deutlich reduziert werden – z.B. Kohlenmonoxid um zwei Drittel.

²⁹⁾ Zur Internalisierung externer Kosten des Verkehrs vgl. beispielsweise Thomas Puls, Externe Kosten am Beispiel des deutschen Straßenverkehrs, Ökonomisches Konzept, politische Relevanz, praktische Möglichkeiten und Grenzen, Köln 2009.

³⁰⁾ Vgl. Europäisches Parlament/Rat, Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa, in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 152/1-44, Brüssel, 11.6.2008.

EU-LUFTQUALITÄTSPOLITIK

Luftschadstoffe

Neben dem Verkehr sind auch Industrie, Landwirtschaft und Haushalte Ursprung von Luftschadstoffen, die dort bei entsprechenden Aktivitäten in die Atmosphäre freigesetzt (emittiert) werden. Solche Luftschadstoffe oder Emissionen sind:

NO_x (Stickoxide), CO (Kohlenstoffmonoxid), NMVOC (nicht methanhaltige flüchtige organische Verbindungen oder auch Kohlenwasserstoffe HC), PM₁₀ (Feinstaub mit einer Partikelgröße bis Mikrometer 10 µm), PM_{2,5} (Feinstaub mit einer Partikelgröße bis Mikrometer 2,5 µm).

Für diese Luftschadstoffe existieren Grenzwerte, die infolge von Langzeitstudien oder Untersuchungen zur Schädigung des menschlichen Organismus bei einer bestimmten Konzentration bzw. einer dauerhaften Belastung der menschlichen Atemluft festgelegt wurden.

Die europäische Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG legt zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt Immissionsobergrenzen für zahlreiche Schadstoffe fest; darunter auch für Feinstaub (PM₁₀) und Stickstoffdioxid (NO₂), da diese als besonders schädlich für den Menschen gelten. Als Immissionen werden hier Luftschadstoffe bezeichnet, die vom Menschen zum Beispiel durch die Atemluft aufgenommen werden. Zum 1. Januar 2010 wurden deren Grenzwerte nochmals verschärft:

IMMISSIONSGRENZWERTE AB 1. JANUAR 2010

Schadstoff	Mittelungszeitraum	Grenzwert
PM ₁₀	24 Stunden	50 µg/m ³ PM ₁₀ dürfen nur 7- statt bisher 35-mal im Jahr überschritten werden
	1 Kalenderjahr	20 µg/m ³ PM ₁₀ statt bisher 40 µg/m ³ als Jahresmittelwert
NO ₂	1 Stunde	200 µg/m ³ NO ₂ dürfen nur 18-mal im Jahr überschritten werden
	1 Kalenderjahr	40 µg/m ³ NO ₂ als Jahresmittelwert

Kommunen sind verpflichtet, diese Immissionswerte zu überwachen und bei Grenzwertüberschreitungen mit in Luftreinhalteplänen formulierten Maßnahmen entgegenzuwirken. Da ab 2010 für Feinstaub und Stickstoffdioxid zahlreiche Grenzwertüberschreitungen erwartet werden, sind von den Kommunen verstärkt Luftreinhaltemaßnahmen zu ergreifen.³¹⁾

31) Vgl. Umweltbundesamt, Hintergrund: Entwicklung der Luftqualität in Deutschland, Dessau, Oktober 2009.

Die zurzeit bedeutendsten Luftschadstoffe des Straßenverkehrs sind Stickoxide und Partikel. Feinstaub aus dem Verkehrssektor stammt sowohl aus der Verbrennung von Kraftstoffen, entsteht aber auch durch Abrieb und Aufwirbelung, wobei der Feinstaub aus dem Verbrennungsprozess aktuell (noch) überwiegt.³²⁾ Der Straßengüterverkehr ist zu einem wesentlichen Teil an den Gesamtemissionen von Stickoxiden (NO_x) und auch von Feinstaub (PM₁₀) beteiligt. Sowohl die Stickoxide als auch die Feinstaubemissionen konnten seit Mitte der 1990er Jahre deutlich um etwa 40 bis 50% gesenkt werden (Abbildung 12).

Auch wenn der Einfluss verkehrsbedingter Emissionen auf die angestrebten Luftqualitätsziele im Einzelnen nicht immer eindeutig feststeht, werden weitere Emissionsminderungen jedoch als erforderlich erachtet.

3.2 KRAFTSTOFFQUALITÄTEN

Die technischen Grundlagen für die Festlegung umweltbezogener Kraftstoffqualitäten – und Abgasgrenzwerte für Pkw und Nutzfahrzeuge – wurden in den 1990er Jahren mit dem europäischen Autoöl-Programm der EU-Kommission gelegt. Ziel des Autoöl-Programms war es, die kostenwirksamsten

32) Vgl. Umweltbundesamt, Hintergrund: Feinstaubbelastung in Deutschland, Dessau, Mai 2009, S.4 und S.10f; Verband der Automobilindustrie, Der Diesel in der Feinstaub-Diskussion, Frankfurt/M., 1.5.2005.

Möglichkeiten zur Einhaltung bestimmter Luftqualitätsziele zu ermitteln.³³⁾

Die EU-Kraftstoffrichtlinie 98/70/EG über die Qualität von Otto- und Dieselmotorkraftstoffen war Bestandteil des Autoöl-Maßnahmenpakets. Sie beschreibt die Mindestanforderungen an Otto- und Dieselmotorkraftstoff. Hier werden unter anderem für bestimmte Kraftstoffinhaltsstoffe Minimal- bzw. Maximalwerte verbindlich festgelegt. Für Dieselmotorkraftstoff sind neben der Verringerung der Dichte und der Definition des Siedeverhaltens die Reduktion polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe, des Schwefelgehaltes sowie die Verbesserung der Zündwilligkeit (Cetanzahl) zu nennen.³⁴⁾

Die wohl wichtigste Veränderung bei den Kraftstoffinhaltsstoffen war die fast vollständige Entschwefelung der Kraftstoffe. Seit dem 1. Januar 2003 werden in Deutschland nur noch Kraftstoffe mit einem maximalen Schwefelgehalt von 10 ppm angeboten.³⁵⁾ Hierdurch wurden nicht nur die Schwefeldioxid-Emissionen und damit der Beitrag des motorisierten Straßen-

33) Vgl. EU-Kommission, Bericht über das Programm Autoöl II, KOM(2000) 626 endgültig, Brüssel, den 5.10.2000.

34) Vgl. Europäisches Parlament/Rat, Richtlinie 98/70/EG über die Qualität von Otto- und Dieselmotorkraftstoffen, Anhang II und IV, Amtsblatt der Europäischen Union, L 350/58-68, Brüssel, 28.12.1998. Für weitere Einzelheiten zu Kraftstoffqualitäten vgl. Kap. 4.

35) ppm = part per million; das entspricht einem Teilchen auf eine Million Teilchen oder 10 Milligramm auf ein Kilogramm. Bei einem Schwefelgehalt von maximal 10 ppm spricht man auch von schwefelfreien Kraftstoffen.

Umweltzonen

Eine solche von einigen Städten bereits umgesetzte Maßnahme ist die Einführung von Umweltzonen. Sie sollen dazu beitragen, die Feinstaubkonzentration in bestimmten Stadtgebieten zu senken. In Umweltzonen dürfen nur Fahrzeuge mit den entsprechenden Plaketten die ausgewiesenen Gebiete befahren.

Für Fahrzeuge ohne Plakette und für Fahrzeuge mit Plaketten bestimmter Farben besteht dann dort ein generelles Fahrverbot, soweit keine Ausnahmeregelungen zum Beispiel für Hilfsdienste oder Nahverkehrsfahrzeuge festgelegt wurden. Die mit der Einrichtung von Umweltzonen erreichten Verbesserungen können nur langfristig bestimmt werden, sodass über den Nutzen dieser Zonen zurzeit sehr stark diskutiert wird beziehungsweise auch gegen Fahrverbote und Ordnungsgelder geklagt wird.



verkehrs zu saurem Regen fast vollständig reduziert. Darüber hinaus erhöhen niedrige Schwefelgehalte die Dauerhaltbarkeit und Effizienz von Abgasnachbehandlungssystemen. Die neu formulierten Kraftstoffe haben so bis etwa 2005 eine zusätzliche Minderung verkehrsbedingter Schadstoffemissionen ermöglicht. Allerdings mussten hierfür auf Seiten der Raffinerien erhöhter Energieeinsatz und CO₂-Emissionen zur Aufwertung der Kraftstoffe in Kauf genommen werden, wodurch der Vorteil der neuen Kraftstoffe zu einem Teil wieder aufgehoben wurde.

In den vergangenen Jahren ist die EU-Kraftstoffqualitätsrichtlinie nochmals überarbeitet worden. Schwerpunkt ist der verstärkte Einsatz von Biokraftstoffen. Zudem wurde der Aromatengehalt von Dieselmotorkraftstoff nochmals von 11 auf 8% reduziert. Hierdurch wird ein weiterer Beitrag zur Reduktion der Partikelemissionen erwartet.³⁶⁾

3.3 ABGASGRENZWERTE

Zur Verringerung verkehrsbedingter Luftschadstoffemissionen aus Verbrennungsmotoren wurden bereits in den 1970er Jahren erste Abgasgrenzwerte erlassen, um die durch den anwachsenden Verkehr steigende Luftverschmutzung zu

36) Vgl. Europäisches Parlament/Rat, Richtlinie 2009/30/EG zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Spezifikationen für Otto-, Diesel- und Gasölkraftstoffe, ANHANG II, in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 140/88-113, Brüssel, 5.6.2009.

verringern und so Mensch und Umwelt besser vor negativen Auswirkungen zu schützen. In den frühen 1990er Jahren gelang schließlich mit Einführung von EU-weiten Abgasgrenzwerten für alle Fahrzeugklassen, den sogenannten Euronormen oder Schadstoffklassen, ein bedeutender Schritt zu emissionsärmeren Fahrzeugen. Durch die Abgasgrenzwerte der Euronormen werden bei Nutzfahrzeugen die Emissionen von Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (HC), Stickoxiden (NO_x) und Feinstaub (PM₁₀) limitiert. Die Euronormen sind seit ihrer Einführung immer weiter verschärft worden.

Bei der weiteren Betrachtung muss zwischen leichten Nutzfahrzeugen sowie Lkw über 3,5 Tonnen und Sattelzugmaschinen aufgrund geltender, unterschiedlicher gesetzlicher Rahmenbedingungen unterschieden werden.

Leichte Nutzfahrzeuge



Die Abgasgrenzwerte für leichte Nutzfahrzeuge bis zu einem zulässigen Gesamtgewicht von 3,5 Tonnen werden in Gramm pro gefahrenem Kilometer angegeben und auf dem Rollenprüfstand gemäß des Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) bestimmt.³⁷⁾ Die

37) Vgl. Europäisches Parlament/Rat, Verordnung (EG) 715/2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6), in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 171/1-16, Brüssel, 29.6.2007.

13 GRENZWERTE EURONORMEN FÜR LEICHTE NUTZFAHRZEUGE >1760 KG MIT DIESEL IN g/km

Seit:	Euro 1 1994/95	Euro 2 1998/99	Euro 3 2001/02	Euro 4 2006/07	Euro 5 2010/12	Euro 6 2015/16	Rückgang Euro 1 zu Euro 6
CO	6,9	1,5	0,95	0,74	0,74	0,74	89%
PM ₁₀	0,25	0,17	0,10	0,06	0,005	0,005	98%
NO _x	-	-	0,78	0,39	0,28	0,125	-
HC+NO _x	1,7	1,2	0,86	0,46	0,350	0,215	87%

Quelle: Umweltbundesamt

Abgasgrenzwerte unterscheiden sich nach Antriebsart (Otto- oder Dieselmotor) und nach drei Gewichtsklassen (<1305 kg, 1305-1760 kg und >1760 kg). Seit den 1990er Jahren werden Schadstoffgrenzwerte als verbindliche Euronormen (Euro 1 bis 6) für alle Neufahrzeuge EU-weit vorgegeben.

Seit dem 1. September 2009 gelten für die Typzulassung für leichte Nutzfahrzeuge unter 1305 kg die Abgasgrenzwerte der Schadstoffklasse Euro 5, für leichte Nutzfahrzeuge ab 1305 kg gelten diese ab 1. September 2010. Die bereits beschlossene Einführung der Schadstoffklasse Euro 6 soll in den Jahren 2014 und 2015 erfolgen.

Die bisherigen Erfolge sind vor allem auf innermotorische Maßnahmen zurückzuführen. So erfolgt der Verbrennungsvorgang durch Systeme wie Hochdruckeinspritzung und Abgasrückführung heute deutlich sauberer.

Um die zukünftig strengeren Abgasgrenzwerte für Euro-6-Dieselfahrzeuge einhalten zu können, werden nach derzeitigem Stand der Technik voraussichtlich Abgasnachbehandlungssysteme eingesetzt werden müssen. Hierfür stehen insbesondere Dieselpartikelfilter und Systeme zur Verminderung der Stickoxidemissionen wie SCR-Katalysatoren zur Verfügung.

14 GRENZWERTE EURONORMEN IN g/kWh

Seit:	Euro I 1993	Euro II 1996	Euro III 2001	Euro IV 2006	Euro V 2008	EEV 2000	Euro VI 2012	Rückgang Euro I zu Euro VI
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%
PM ₁₀	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%

Quelle: Umweltbundesamt

Mit Einführung von Euro 6 wird zudem erstmals ein Grenzwert für die Partikelanzahl in den Abgasgrenzwerten für leichte Nutzfahrzeuge festgelegt. Das Haupteinsatzgebiet der leichten Nutzfahrzeuge ist der Wirtschaftsverkehr in Städten und Ballungsräumen. In diesem Umfeld wirken Schadstoffemissionen sehr direkt auf die Umwelt der Menschen. Daher besitzen die bisherigen und weiter folgenden Fortschritte bei der Reduzierung der Schadstoffemissionen für viele Menschen Relevanz.

Beispielhaft wird für leichte Nutzfahrzeuge mit Dieselantrieb und mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 1760 kg (vgl. Tabelle 13) deutlich, dass mit den kommenden Euronormen ein weiterer massiver Rückgang von Feinstaub und Stickoxiden in den Abgasen leichter Nutzfahrzeuge zu erwarten ist. Vergleicht man die ersten Euro-1-Normgrenzwerte mit den für 2015 geplanten Werten, zeigt sich ein Rückgang der limitierten Schadstoffe um 85% oder mehr.³⁸⁾

Lkw und Sattelzugmaschinen



Die Abgaswerte für Lkw mit mehr als 3,5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht werden nicht am

Rollenprüfstand, sondern am Motorenprüfstand für definierte Betriebszustände des Motors ermittelt. Die Emissionen in Gramm werden dabei bezogen auf die beim Test abgegebene mechanische Arbeit (kWh) ermittelt und begrenzt. Daher werden die Grenzwerte für Lkw >3,5 Tonnen in der Einheit g/kWh angegeben.³⁹⁾

1993 wurde für schwere Nutzfahrzeuge die Schadstoffklasse Euro I eingeführt.⁴⁰⁾ Seit 2008 muss für die Typzulassung neuer Lkw die Schadstoffklasse Euro V erfüllt werden. Zwischen diesen beiden Schadstoffklassen wurden die

39) Vgl. Europäisches Parlament/Rat, Richtlinie 2005/55/EG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Flüssiggas oder Erdgas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen, in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 275/1-163, Brüssel, 20.10.2005.

40) Diktion gemäß UBA: Euronormen für Lkw > 3,5 Tonnen werden mit römischen Zahlen beziffert.

38) Verband der Automobilindustrie, Das Nutzfahrzeug - umweltfreundlich und effizient, Frankfurt/M., 2008, S.12.

Normen für Euro II bis IV sowie die sogenannte EEV-Norm (EEV - enhanced environmentally friendly vehicle) in Kraft gesetzt⁴¹⁾ (Tabelle 14). Erst im Sommer 2009 hat die EU die Normgrenzwerte für die Schadstoffklasse Euro VI festgelegt, die ab Ende 2012 zur Typzulassung erfüllt werden müssen.⁴²⁾

Seit Einführung der Normgrenzwerte für Euro I konnten die Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen bereits signifikant reduziert werden. Vergleicht man die Emissionen eines Euro-I-Fahrzeuges mit denen eines ab Ende 2012 zugelassenen Fahrzeuges der Schadstoffklasse Euro VI, so sind bemerkenswerte Rückgänge während dieses entwicklungs-technisch kurzen Zeitraumes bei den Schadstoffemissionen festzustellen (siehe letzte Spalte in Tabelle 14).

Insbesondere die Emissionen von Feinstaub und Stickoxiden werden bei Neufahrzeugen dann um mehr als 95% niedriger liegen als vor gut 20 Jahren.

Ähnlich strenge Abgasgrenzwerte gelten ebenfalls für die Leitmärkte in Japan und USA (inkl. NAFTA). Auch hier wurden die Anforderungen an die Abgasgrenzwerte in den letzten Jahren stark erhöht. Die seit 2010 geltende US-Norm EPA'10 weist Abgasgrenzwerte von 0,27 g/kWh für NO_x und 0,013 g/kWh für Partikel auf und ist damit bereits heute in etwa so anspruchsvoll wie die Euro-VI-Norm.

Die seit 2009 geltende japanische Norm JP'09 fordert Abgaswerte von 0,7 g/kWh für NO_x und 0,01 g/kWh für Partikel, damit ist diese Norm bereits anspruchsvoller als die derzeit gültige Euro-V-Norm.

Die Erfüllung neuer Normgrenzwerte ist für die Fahrzeugentwickler stets eine große technische und wirtschaftliche Herausforderung. Einige Nutzfahrzeug-Hersteller produzieren für den internationalen Markt oder kooperieren mit Nutzfahrzeug-Herstellern in Amerika und Asien.

Somit ergibt sich das Problem, dass für die einzelnen Märkte die Fahrzeuge die jeweiligen, landesspezifischen Normgrenzwerte erfüllen müssen.⁴³⁾ Dies wird dann zum Problem für die Lkw-Hersteller, wenn die jeweiligen Normen für ihre Zielmärkte so sehr differieren, dass zusätzliche Motorentwicklungen notwendig sind, um diese auch erfüllen zu können. Deshalb scheint eine Angleichung bei den Leitmärkten aus Sicht der Hersteller sehr sinnvoll.

41) Die EEV-Norm steht außerhalb der Folge der Euronormen, da sie keine verpflichtende Norm ist. Sie wurde im Jahr 2000 eingeführt und hat strengere Grenzwerte als Euro V. Für Fahrzeuge, die diese Norm freiwillig erfüllen, können spezielle Förderungen erhalten werden. Die EU wollte damit die Entwicklung sauberer Motortechnik unterstützen. Erst die Euro-VI-Norm wird strengere Vorschriften als die EEV-Norm beinhalten.

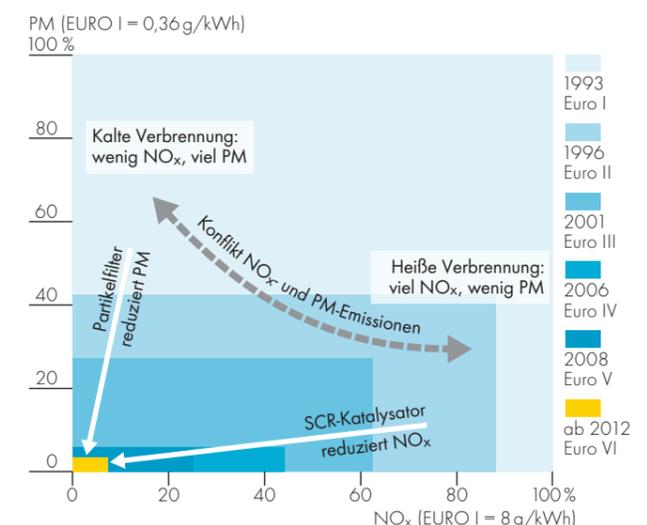
42) Vgl. Europäisches Parlament/Rat, Verordnung (EG) 595/2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (Euro VI), in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 188/1-13, Brüssel, 18.07.2009.

43) Continental, Worldwide Emission Standards and Related Regulations. Passenger Cars, Light & Medium Duty Vehicles, Regensburg, Februar 2009.

3.4 ZIELKONFLIKTE IN DER ABGASREINIGUNGSTECHNIK

Zur Erfüllung der aktuellen Euro-V-Norm wurden zahlreiche inner- und außermotorische Technologien entwickelt, die insbesondere die für den Dieselmotor besonders relevante Verminderung von Partikel- und Stickoxidemissionen zum Ziel haben. Hierbei spielt die Lösung des Zielkonflikts zwischen PM-Reduktion und NO_x-Reduktion eine wichtige Rolle. Folgende Abbildung erläutert das zugrunde liegende Problem:

15 ENTWICKLUNG VON ABGASGRENZWERTEN INFOLGE DER EURONORMEN



Quelle: eigene Darstellung nach Daten des Umweltbundesamtes

Bei heißer, vollständiger Verbrennung eines mageren Diesel-Luft-Gemisches entstehen durch die vollständige Verbrennung kaum Partikel. Die hohen Temperaturen sorgen allerdings dafür, dass sich Stickstoff und Sauerstoff zu Stickoxiden verbinden, welche anschließend außermotorisch reduziert werden müssen. Ein Vorteil der mageren Gemischbildung ist die hohe Kraftstoffeffizienz aufgrund der vollständigen Verbrennung des Kraftstoffes.

Um Stickoxide innermotorisch zu reduzieren, ist eine Verbrennung bei niedrigerer Temperatur erforderlich. Durch die niedrigere Temperatur können sich kaum Stickoxide bilden, allerdings führt die teilweise unvollständige Verbrennung dazu, dass sich wiederum vermehrt Partikel bilden können, welche anschließend außermotorisch oder durch weitere Anpassung der Motoren (höhere Einspritzdrücke, Brennraumgeometrie u. a.) beseitigt werden müssen.

Zur Lösung des Zielkonfliktes und gleichzeitiger Realisierung der Euro-V-Abgasnorm kommen derzeit folgende Technologien zum Einsatz:

AGR – ABGASRÜCKFÜHRUNG (AUCH EGR – EXHAUST GAS RECIRCULATION):

Bei der Abgasrückführung wird eine Teilmenge der Abgase wieder der Ladeluft zugeführt. Dadurch werden die Verbrennung verlangsamt und Spitzentemperaturen reduziert. Zusätzlich kommt es zu einer Reduzierung der globalen und lokalen Luftverhältnisse, was neben den reduzierten Spitzentemperaturen zu einer deutlichen Abnahme der Stickoxidemissionen beiträgt. Mit weiteren motorischen Maßnahmen (vor allem mit höheren Einspritzdrücken und optimierter Motorsteuerung) können die Euro-V-Grenzwerte für Stickoxide und Partikel auch ohne weitere Abgasnachbehandlung erreicht werden.

PARTIKELFILTER:

Zur außermotorischen Verminderung von Partikelemissionen werden Dieselpartikelfilter eingesetzt. Man unterscheidet zwischen unregulierten Partikelfiltern, welche bis zu 60% der Partikelmasse mittels chemischer Reaktionen reduzieren und regulierten Partikelfiltern, welche bis zu 95% der Partikelmasse durch eine mechanische Filterung zurückhalten.

SCR – SELEKTIVE KATALYTISCHE REDUKTION (SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION):

Sie reduziert Stickoxide außermotorisch zu Stickstoff und Wasser. Bei diesem Prozess wird das zur Reduktion notwendige Ammoniak im Abgasstrom dadurch gebildet, dass eine Harnstofflösung (zum Beispiel AdBlue) in den Abgasstrom eingespritzt wird. SCR reduziert die Stickoxide im Abgas um bis zu 90%, wodurch der Motor auf eine heiße, partikelarme und effiziente Verbrennung ausgelegt werden kann. Der Verbrauch an Harnstofflösung liegt bei bis zu 5% des Dieserverbrauchs, wobei nach ersten Erfahrungen eine Verringerung des Kraftstoffverbrauches um 5-8% bei ähnlich ausgelegten Sattelzugmaschinen zu verzeichnen war.

Aktuelle Motoren sind in der Lage, die Euro-V-Feinstaub- und Stickoxidwerte durch den Einsatz der AGR-Technologie oder SCR-Technologie, jeweils ohne Partikelfilter zu erfüllen. Die Frage, auf welche Technologien die Hersteller zum Erreichen der Feinstaub- und Stickoxidgrenzwerte der Euro-VI-Norm setzen werden, kann derzeit noch nicht abschließend beantwortet werden.

Aus heutiger Sicht könnte möglicherweise eine Kombination aus den Technologien Partikelfilter, AGR und SCR notwendig werden.

Neben einem aufgrund von geringen Verbrennungsraumtemperaturen auftretenden unerwünschten Anstieg beim Kraftstoffverbrauch führte die Erfüllung der Euronormgrenzwerte in der Vergangenheit auch insgesamt zu höheren Fahrzeugkosten.

So belaufen sich die Mehrkosten bei der Anschaffung für eine mit einem Euro-V-Motor ausgerüsteten Sattelzugmaschine oder Lkw gegenüber einem mit Euro-IV-Motor auf einige Tausend Euro; für Euro-VI-Fahrzeuge muss voraussichtlich nochmals mit Mehrkosten in Höhe von mehreren Tausend Euro im Vergleich zu Euro V gerechnet werden.

3.5 EURONORMEN UND TECHNOLOGIEDIFFUSION

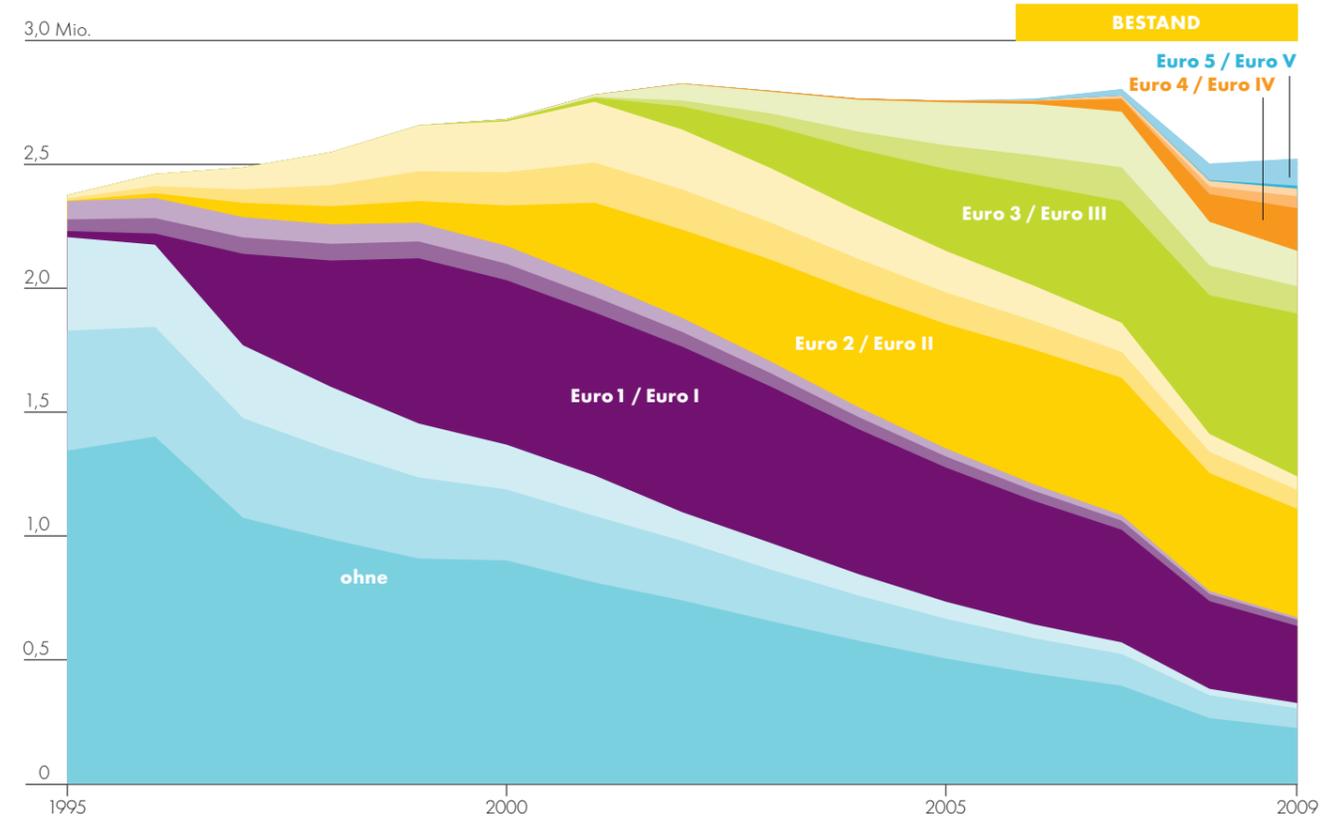
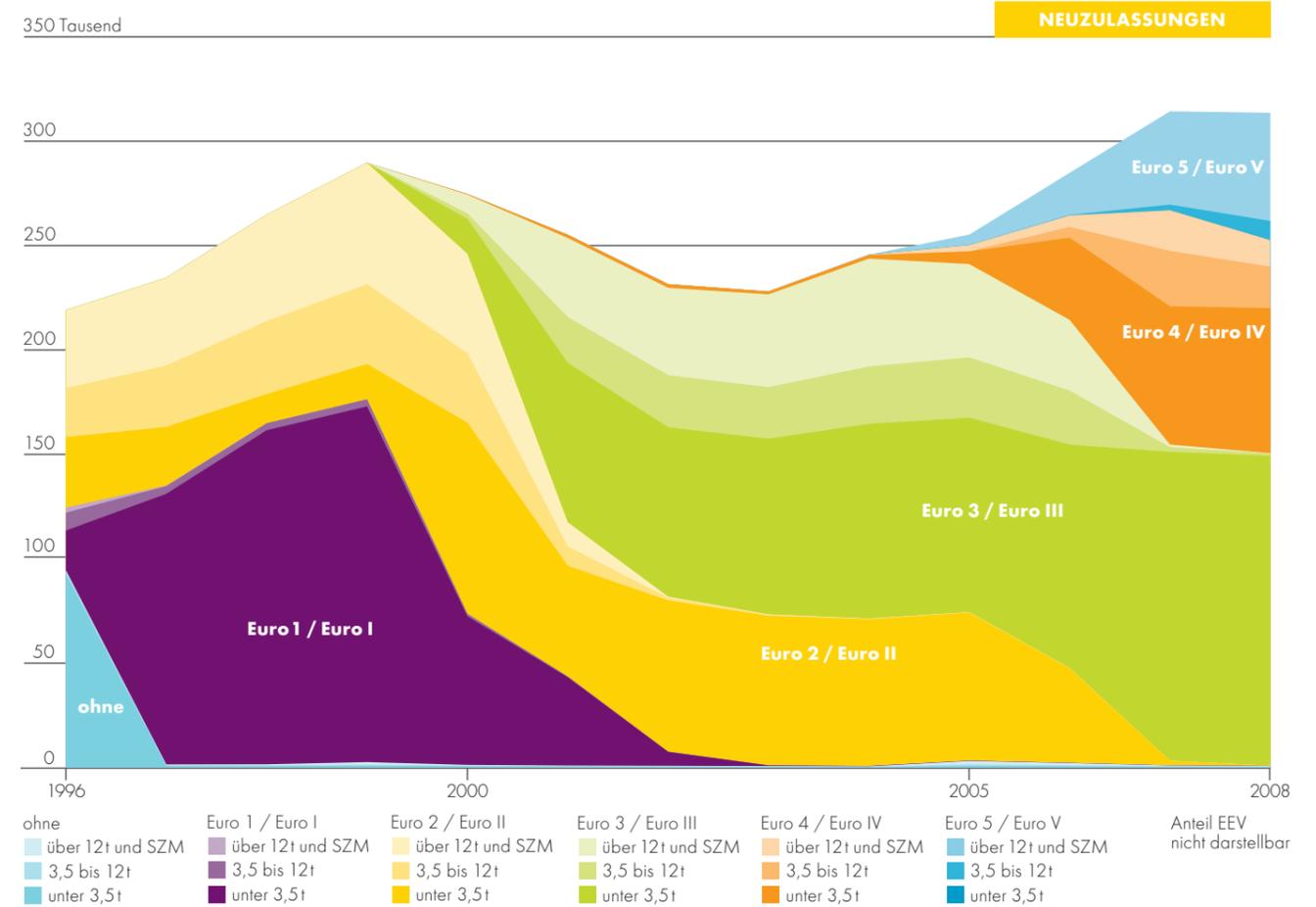
Sauberere Fahrzeugtechnologie setzt sich immer weiter durch – das zeigen Neuzulassungen und Flottenbestand, wenn man sie nach den jeweiligen Emissionsklassen differenziert betrachtet. Allerdings gibt es zwischen den einzelnen Nutzfahrzeugklassen zum Teil erhebliche Unterschiede.

Neuzulassungen nach Schadstoffklassen

Die in Abbildung 16 dargestellte Neuzulassungsentwicklung für leichte Nutzfahrzeuge, Lkw und Sattelzugmaschinen (SZM) zeigt, wie schadstoffarme Nutzfahrzeuge die älteren, stärker emittierenden Fahrzeuge verdrängen. Das Tempo dieser Entwicklung ist in den verschiedenen Fahrzeugklassen unterschiedlich und hängt maßgeblich von der Nutzungsdauer der Fahrzeuge in den einzelnen Klassen ab. So sind bei Sattelzugmaschinen, welche durchschnittlich nur 4,4 Jahre genutzt werden, modernere Fahrzeuge unterwegs als etwa bei leichten Lkw, bei denen Nutzungsdauern von 6 bis 8 Jahren üblich sind.⁴⁴⁾

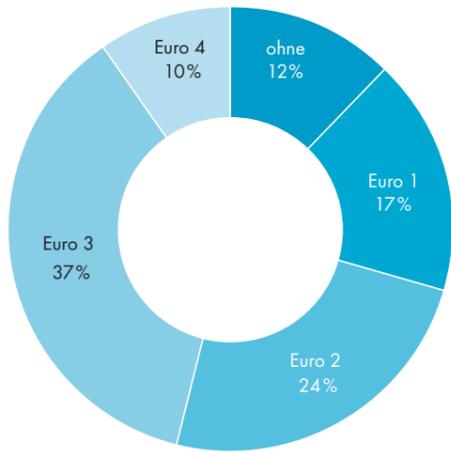
44) Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt, Fahrzeugzulassungen, Bestand am 1. Januar 2009, Sammelband, FZ 6 sowie lastauto omnibus Katalog 2010, Daten aus den Kostenberechnungen S. 255 und 258f.

16 LKW UND SZM NACH EMISSIONSKLASSEN IN DEUTSCHLAND



Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt

17 SCHADSTOFFKLASSEN IM BESTAND LEICHTER NUTZFAHRZEUGE ZUM 1. JANUAR 2009



Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (2009)

Fahrzeugbestand nach Euronormen/ Schadstoffklassen

Die Fahrzeuge ohne Schadstoffklassen und bis Euro 3/Euro III machen mit 85% bis heute den größten Anteil am Bestand aus. Die Hälfte des Bestandes erreicht erst die Euro-2-/Euro-II-Norm, 36% Euro 3/Euro III und nur 15% der Fahrzeuge sind mit Euro 4/Euro IV und besseren Techniken ausgerüstet. Jedoch unterscheiden sich die Euro-Anteile in den Größenklassen beträchtlich voneinander.

Tendenziell fährt der Fernverkehr in Deutschland mit Nutzfahrzeugen der Euro-III- oder Euro-V-Klasse, die Fahrzeuge des Nahverkehrs erfüllen hauptsächlich den Standard Euro II oder Euro III. Generalisierend lässt sich festhalten, dass mit zunehmendem Gesamtgewicht und höherer Nutzlast des Fahrzeugs eine restriktivere Schadstoffklasse erreicht wird.

Im Gegensatz zu den Lkw unter 12 Tonnen hat sich die Schadstoffklasse Euro IV mit weit weniger als 10% bei den schweren Lkw über 12 Tonnen am Markt nicht etablieren können. Aufgrund der Mehrkosten bei annähernd gleichem Kraftstoffverbrauch gegenüber der Euro-III-Norm wurden Lkw mit Euro-IV-Norm nur zögernd angenommen. Gleichzeitig haben die Lkw-Hersteller bereits weit vor dem Stichtag der verpflichtenden Einführung der Euro-V-Norm am 1. September 2009 ihre Euro-V-Neufahrzeuge am Markt angeboten, so dass die Käufer die Euro-IV-Norm häufig übersprungen haben und gleich auf die Euro-V-Norm umgestiegen sind. Die seit 2001 im Bestand verzeichnete EEV-Norm zeigt sich mit 1.159 Fahrzeugen (0,046%) noch als bedeutungslos.

Die Nutzfahrzeugbestände älterer Normen erreichen ihren Höchstbestand erst Jahre nach der Einführung bereits restriktiverer Euronormen. Dies liegt u.a. daran, dass bereits produzierte Fahrzeuge auch weiterhin verkauft werden können und für den sehr hohen Anteil an leichten Nutzfahrzeugen andere

Fristen gelten als für Lkw und SZM. So werden für Lkw die maximalen Bestände erreicht: Euro I im Jahr 1999, d.h. 6 Jahre nach Einführung der Norm und Euro II im Jahr 2006, d.h. ca. 9 Jahre nach Einführung der Norm.

Die Zusammensetzung des Bestandes der Sattelzugmaschinen verändert sich wesentlich schneller, festzustellen bereits durch das sinkende Durchschnittsalter der letzten Jahre. Der größte Bestand einer Emissionsnorm wird somit in weniger Jahren erreicht als bei den Lkw: Euro I im Jahr 1996, das heißt nach 4 Jahren, Euro II im Jahr 2001, also nach 4 Jahren und Euro III im Jahr 2007, nach 6 Jahren. Insbesondere bei den Sattelzugmaschinen wird die geringe Bedeutung der Fahrzeuge mit Euro-IV-Norm deutlich. Während Euro-III-Fahrzeuge immer noch einen Anteil von 39,4% am Bestand der Sattelzugmaschinen haben und Euro-V-Fahrzeuge bereits 41,6% ausmachen, hat der Euro-IV-Bestand nur einen Anteil von 7,3% und damit weniger als Fahrzeuge mit Euro-II-Norm.

Im Gegensatz zu den Sattelzügen sind bei den leichten Nutzfahrzeugen noch sehr viele Fahrzeuge mit älteren Schadstoffklassen in der Bestandsstatistik vorzufinden. Zum 1. Januar 2009 zählte fast die Hälfte der zugelassenen leichten Nutzfahrzeuge zu den Schadstoffklassen Euro 1 und Euro 2 (Abbildung 17).

Aus der Bestandsstatistik lässt sich folglich ableiten: Je schwerer das Gesamtgewicht und höher die Nutzlast des Fahrzeugs, desto restriktiver ist die Schadstoffklasse, das heißt desto sauberer ist das Fahrzeug. Der Straßengüterfernverkehr in Deutschland erfolgt mit Lkw und SZM, die Euro III oder Euro V erfüllen; der Güternahverkehr findet noch hauptsächlich mit Nutzfahrzeugen mit Euro II oder Euro III statt. Die kleinste Nutzfahrzeugklasse stützt sich sogar noch hauptsächlich auf Euro 1 und Euro 2.

3.6 ANREIZE UND FÖRDERMASSNAHMEN

Um sauberer Fahrzeugtechnologie möglichst rasch zum Durchbruch zu verhelfen, setzt die Politik zusätzlich zur Regulierung der Schadstoffgrenzwerte für die Typgenehmigung auf fiskalische Anreize und Fördermaßnahmen. Im Einzelnen handelt es sich um emissionsabhängige Mautgebühren vor allem für den Straßengüterfernverkehr, eine emissionsgestaffelte Kfz-Steuer für alle Nutzfahrzeuge sowie schließlich Förderprogramme, welche die Einführung neuer Technologien finanziell unterstützen.

Lkw-Maut

Die Mautpflicht für Lkw ab 12 Tonnen auf Bundesautobahnen basiert auf der Grundlage der Richtlinie 1993/89/EWG des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 25. Oktober 1993 (Eurovignettenrichtlinie), die 1999 durch die Richtlinie 1999/62/EG ersetzt und zuletzt durch die Richtlinie 2006/103/EG geändert wurde. Die Eurovignettenrichtlinie wurde in nationales Recht umgesetzt. Gemeinsam mit den Niederlanden, Belgien, Luxemburg und Dänemark – sowie einige Jahre später auch Schweden – wurde am 9. Februar 1994 das „Übereinkommen über die Erhebung von Gebühren

18 LKW-MAUTSÄTZE IN DEUTSCHLAND

Emissionsklasse	Mautkategorie	Maut ab 1. 1. 2009	Maut ab 1. 1. 2011
EEV Nutzfahrzeuge, die mehr als Euro V erfüllen	A	bis 3 Achsen: 14,1 ct ab 4 Achsen: 15,5 ct	bis 3 Achsen: 14,0 ct ab 4 Achsen: 15,4 ct
Euro V	A	bis 3 Achsen: 14,1 ct ab 4 Achsen: 15,5 ct	bis 3 Achsen: 14,0 ct ab 4 Achsen: 15,4 ct
Euro IV oder Euro III mit PMK* 2, 3 oder 4	B	bis 3 Achsen: 16,9 ct ab 4 Achsen: 18,3 ct	bis 3 Achsen: 16,8 ct ab 4 Achsen: 18,2 ct
Euro III oder Euro II mit PMK* 2, 3 oder 4	C	bis 3 Achsen: 19,0 ct ab 4 Achsen: 20,4 ct	bis 3 Achsen: 21,0 ct ab 4 Achsen: 22,4 ct
Euro II	D	bis 3 Achsen: 27,4 ct ab 4 Achsen: 28,8 ct	bis 3 Achsen: 27,3 ct ab 4 Achsen: 28,7 ct
Euro I / Euro 0	D	bis 3 Achsen: 27,4 ct ab 4 Achsen: 28,8 ct	bis 3 Achsen: 27,3 ct ab 4 Achsen: 28,7 ct

* PMK: Partikelminderungskategorie; Nachrüstungsstandards zur Senkung des Partikelausstoßes. Hierdurch werden die nachgerüsteten Fahrzeuge Fahrzeugen der jeweiligen Euronorm gleichgestellt.

Quelle: eigene Darstellung nach Angaben des BMVBS, www.bmvbs.de, Stand: 1.1.2009

für die Benutzung bestimmter Straßen für schwere Nutzfahrzeuge“ unterzeichnet.

Bis Sommer 2003 wurde für Lkw und Sattelzugmaschinen über 12 Tonnen auf Bundesautobahnen eine zeitabhängige Maut erhoben. Diese wurde am 1. Januar 2005 auf eine streckenabhängige Maut umgestellt. Neben den Bundesautobahnen wurden in Abstimmung mit den Bundesländern einzelne Abschnitte einzelner Bundesfernstraßen aufgenommen, um den Mautausweichverkehr auf diesen Strecken zu verringern.

Das erzielte Mautaufkommen wird nach Abzug der Ausgaben für Betrieb, Überwachung und Kontrolle zusätzlich dem Verkehrshaushalt zugeführt und in vollem Umfang zweckgebunden für die Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur – überwiegend für den Bundesfernstraßenbau – verwendet, wobei gleichzeitig die bereitgestellten Bundesmittel zum Bau von Straßeninfrastruktur reduziert wurden.

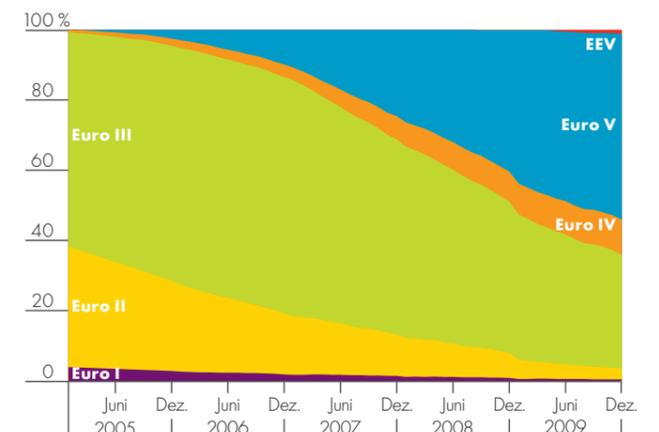
Die Höhe der Mautsätze wurde auf der Grundlage der dem Lkw-Verkehr zugeordneten Wegekosten festgelegt. Die Lkw-Maut wird jedoch auch als Lenkungsinstrument eingesetzt, um die Nutzung emissionsarmer Lkw und Sattelzugmaschinen größer 12 Tonnen zu fördern. Der Mautsatz ist daher nach Emissionsklassen gestaffelt und belohnt direkt die Verwendung der neuesten Antriebstechnik; das sind heute EEV- oder Euro-V-Fahrzeuge (siehe Tabelle 18). Mit der Einführung der Euro-VI-Norm ist von einer Überarbeitung auszugehen, die zu einer erneuten Anpassung der Mautsätze führen wird.

Die Spreizung der Lkw-Maut nach Emissionsklassen trägt maßgeblich dazu bei, dass der Anteil der Fahrleistungen von umweltfreundlichen Nutzfahrzeugen auf Autobahnen kontinuierlich ansteigt.⁴⁵⁾ Dabei begünstigt die kurze Nutzungsdauer

45) Vgl. Bundesamt für Güterverkehr, Marktbeobachtungen Güterverkehr – Bericht Herbst 2009, Köln, November 2009.

schwerer Nutzfahrzeuge, insbesondere von Sattelzugmaschinen, die Nutzung neuerer und damit schadstoffärmerer Antriebstechnik. Die Entwicklung der Fahrleistung von Lkw und SZM über 12 Tonnen ab 2005 auf deutschen Autobahnen zeigt eine schnelle Zunahme von modernen Lkw (Abbildung 19). Es wird deutlich, dass seit Mitte des Jahres 2009 bereits über die Hälfte der Fahrleistung auf den Bundesautobahnen mit Lkw der neuesten Schadstoffklasse Euro V erbracht wurde. Die Fahrleistung von Lkw mit Zulassungen älter als Euro III ist hingegen von 38% im ersten Quartal 2005 auf unter 4% im IV. Quartal 2009 gefallen.

19 ANTEILE DER SCHADSTOFFKLASSEN AN DEN FAHRLEISTUNGEN VON LKW >12 T AUF BAB



Quelle: Bundesamt für Güterverkehr

Kfz-Steuer

Neben der Maut ist auch die Kraftfahrzeugsteuer emissionsabhängig nach Schadstoff- und Geräuschklassen gestaltet. Die Höhe der Steuer wird für Nutzfahrzeuge über 3,5 Tonnen über progressiv steigende Tarifstufen sowohl nach den

20 KFZ-STEUER FÜR LKW JE ANGEFANGENE 200 KG ZULÄSSIGES GESAMTGEWICHT

zulässiges Gesamtgewicht	bis 3,5 t	Emissionsklassen über 3,5 t			
		Euro II und besser	Euro I	Geräusch-arm 1	ohne
bis 3,5 t	11,25-12,78	-	-	-	-
über 3,5 bis 12 t	-	7,31-13,01	7,31-13,01	10,97-19,51	12,78-22,75
über 12 bis 15 t	-	14,32	14,32-26,00	21,47-39,01	25,05-45,50
über 15 t	-	-	36,23	54,35	63,40
Obergrenze	-	556 €	914 €	1425 €	1681 €
erreicht bei einem zulässigen Gesamtgewicht von	-	mehr als 12,2 t	mehr als 12,4 t	mehr als 15,6 t	mehr als 15,8 t

Quelle: www.bundesfinanzministerium.de, Stand: 1.7.2009

Emissionsklassen (ohne Emissionsklasse, Geräuschklasse 1, Euro I sowie Euro II und besser) bemessen. Gleichzeitig ist der Steuerbetrag für jede einzelne Emissionsklasse bei Erreichen eines zulässigen Gesamtgewichts zwischen 12,2 bis 15,8 Tonnen in der Höhe begrenzt. Die Steuer wurde zuletzt 2007 angepasst und beträgt für Fahrzeuge mit der Emissionsklasse Euro II und besser maximal 556 Euro (erreicht bei über 12,2 Tonnen) und für Fahrzeuge ohne Emissionsklasse 1.681 Euro (erreicht bei über 15,8 Tonnen).

Nutzfahrzeuge bis 3,5 Tonnen werden nur nach dem Gesamtgewicht besteuert entsprechend der Tarifstufen für Fahrzeuge ohne Emissionsklasse, bis maximal 210 Euro.

Innovationsprogramm

Mit Einführung der Maut einigte sich die Bundesregierung mit dem Güterverkehrsgewerbe auf eine Bereitstellung von Zuwendungen in Höhe von 600 Mio. Euro p.a. für Unternehmen des Güterkraftverkehrs zur Harmonisierung der Wettbewerbsbedingungen des europäischen Güterverkehrs. Seit dem 1. September 2007 kam es zunächst zu einer Absenkung der Kfz-Steuer für schwere Nutzfahrzeuge und zur Fortführung des sogenannten Innovationsprogramms zur Anschaffung emissionsarmer Lkw.

Dieses Förderprogramm wurde am 29. Januar 2010 erneut aufgelegt und leistet einen Investitionszuschuss für den Kauf von Fahrzeugen (Lkw ab 12 Tonnen und Sattelzugmaschinen) der EEV-Norm (Klasse 1) und Euro-VI-Norm. Entgegen der Vorgängerrichtlinie handelt es sich bei der aktuellen Förderung nur noch um eine Investitionszulage, da die Möglichkeit der zinsbegünstigten Darlehen in der Vergangenheit kaum genutzt wurde.

Gefördert werden im Vergleich zu einem Euro-V-Fahrzeug die Investitionsmehrkosten; diese werden pauschal angesetzt: für EEV mit 3.000 Euro pro Fahrzeug und für Euro VI mit 4.000

21 FÖRDERBETRÄGE DES INNOVATIONSPROGRAMMS

Unternehmen	Beihilfeintensität	je EEV-Fahrzeug	je Euro-VI-Fahrzeug
groß	35 %	1.050 Euro	1.400 Euro
mittel	45 %	1.350 Euro	1.800 Euro
klein	55 %	1.650 Euro	2.200 Euro

Stand: 18. Januar 2010

Euro. Die Höhe des Zuschusses richtet sich jedoch letztendlich nach der Unternehmensgröße (entsprechend der EU-Definition).⁴⁶⁾

De-minimis-Beihilfen

Seit 2009 trägt ein weiteres nationales Förderprogramm zur Mautkompensation bei. Die sogenannten De-minimis-Beihilfen müssen auf Grund ihrer geringfügigen Auswirkungen auf Wettbewerb und Handel von der Europäischen Kommission nicht genehmigt werden. Der gesamte Subventionswert aller De-minimis-Beihilfen, die ein Unternehmen im Bereich des Straßentransportsektors innerhalb von drei Kalenderjahren erhält, darf 100.000 € nicht überschreiten.

De-minimis-Beihilfen für schwere Nutzfahrzeuge ab 12 Tonnen sind ausschließlich an Eigentümer und Halter im Güterkraftverkehr gebunden. Sie fördern fahrzeug-, personenbezogene und effizienzsteigernde Maßnahmen und anderes im Bereich Umwelt durch Aus- und Weiterbildung oder Investitionen in Ausrüstungsgegenstände (zum Beispiel Windleitkörper, Partikelminderungssystem, lärm-/geräuscharme und rollwiderstandsoptimierte Reifen). Die Höhe der Zuwendung beträgt für fahrzeugbezogene Maßnahmen maximal 3.600 Euro, für personenbezogene Maßnahmen 1.400 Euro und für effizienzsteigernde Maßnahmen bis zu 2.500 Euro, maximal jedoch nur 33.000 Euro je Unternehmen.⁴⁷⁾

3.7 PERSPEKTIVEN DER LUFTREINHALTEPOLITIK

Umweltpolitische Regulierung und deren technische Umsetzung durch neue Kraftstoffqualitäten und Abgasreinigungstechnologien haben in der Vergangenheit zu einer deutlichen Absenkung der Luftschadstoffemissionen des Straßenverkehrs in Europa geführt. Die europäische Luftreinhaltepolitik und ihre technologische Implementierung im Verkehrsbereich gelten heute vielen Ländern der Welt als Vorbild. So sind die Euronormen oder vergleichbare Abgasstandards gerade in Schwellenländern wichtige Referenz für eigene Luftreinhalte-

maßnahmen im Verkehrsbereich. Die Kraftstoffqualitäten hatten bereits mit Umsetzung der Vorgaben der EU-Kraftstoffqualitätsrichtlinie in den Stufen 2000 bzw. 2005 ein hohes Niveau erreicht, sodass die aktuelle Überarbeitung nur noch sehr geringfügige Änderungen vorsah. Mit zunehmender Verbreitung der neuen Abgasreinigungsstufen Euro V/5 und Euro VI/6 sind weitere Fortschritte zu erwarten; so werden die absoluten Stickoxid- bzw. Feinstaubemissionen im Straßengüterverkehr von 2005 bis 2025 voraussichtlich um 57% bzw. 70% sinken.⁴⁸⁾ Dabei werden insbesondere die Emissionen von Sattelzugmaschinen rasch weiter abnehmen; denn hier werden die Fahrzeuge nur relativ kurz gehalten.

Anders stellt sich die Situation bei den leichten Nutzfahrzeugen und leichten bis mittelschweren Lkw dar. In diesen Fahrzeugklassen ist der Flottenumschlag gering; hier wird auch heute noch weitgehend Euro-1- und Euro-2-Fahrzeuge gefahren. Ihr Haupteinsatzgebiet sind die ohnehin schon höher belasteten Städte und Agglomerationsräume.

Dabei sind gerade die leichten Nutzfahrzeuge besonders zahlreich. In einem beschleunigten Umschlag dieser Flottensegmente liegt mittelfristig noch das größte Reduktionspotenzial für verkehrsorientierte Luftqualitätspolitik. Gelingt es nicht, diese Flottensegmente technisch aufzuwerten, sind zunehmend nicht-technische Maßnahmen wie innerstädtische Einfuhrverbote zu erwarten.⁴⁹⁾

Kritisch anzumerken bleibt, dass Abgastechnologie immer aufwändiger und komplexer geworden ist. Sie stellt damit heute einen wichtigen und fühlbaren Kostenfaktor beim Fahrzeuggesamtprice dar. Zudem verursacht moderne Abgasreinigungstechnologie – ebenso wie gestiegene Kraftstoffqualitätsanforderungen – höheren Energieaufwand und produziert damit mehr CO₂-Emissionen. Die Senkung des Energieverbrauchs und der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen sind aber wiederum wichtige Ziele der nationalen und europäischen Energie- und Klimastrategien.

46) Vgl. Bekanntmachung der Richtlinie über die Förderung der Sicherheit und der Umwelt in Unternehmen des Güterkraftverkehrs mit schweren Nutzfahrzeugen vom 3. Februar 2009, Bundesanzeiger vom 20.2.2009 Nummer 28, S. 629ff.

47) Vgl. Internetseite des Bundesamtes für Güterverkehr, Regelungen und Vordrucke unter www.bag.bund.de.

48) Vgl. Öko-Institut (Hrsg.) 2007, TU Dortmund/Fraunhofergesellschaft IML, Nachhaltige Mobilität durch Innovationen im Güterverkehr. Berlin/Dortmund, 30. November 2007, S.10.

49) Zum aktuellen Stand Umweltzonen vgl. die Website des Bundesverkehrsministeriums www.bmvbs.de.



IV

ANTRIEBE, KRAFTSTOFFE, TECHNIK

Neben der klassischen Umweltproblematik entwickeln sich Energieverbrauch und Klimaschutz zu einem immer größeren Thema für den Straßengüterverkehr. Wirtschaftlichkeit und Kraftstoffverbrauch waren schon immer ein wichtiges Kriterium für den gewerblichen Güterkraftverkehr. Immerhin machen die Kraftstoffkosten einen wesentlichen Anteil der Betriebskosten eines Nutzfahrzeuges aus. Dabei sind die Kraftstoffkosten mit steigenden Energiepreisen immer wichtiger für die verladende Wirtschaft geworden. Zudem gewinnen CO₂-Problematik und Klimaschutz für viele Flottenbetreiber – oftmals aus Gründen der Unternehmensreputation – rasch an Bedeutung. Dabei ist davon auszugehen, dass das Thema CO₂-Regulierung auch für Nutzfahrzeuge immer größere Relevanz erhält. Aus energiepolitischer Sicht wird ferner eine stärkere Diversifizierung von Antrieben und Kraftstoffen angestrebt.

Alle verkehrswirtschaftlichen Akteure suchen deshalb heute intensiv nach Möglichkeiten, Energieeffizienz im motorisierten Straßengüterverkehr zu erhöhen sowie Energieverbrauch und CO₂-Emissionen zu senken.

Zur Verbesserung der Energie- und Verringerung der Klimawirkung des Straßengüterverkehrs bieten sich im Wesentlichen vier Ansatzpunkte: Antriebssysteme, Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch, Fahrzeugtechnik sowie Fahrerverhalten und Verkehrsmanagement.

Zunächst werden weitere Optimierungspotenziale konventioneller Dieselmotortechnologie diskutiert. Als technologisch leicht einsetzbare Alternativen kommen mit dem Verbrennungsmotor kompatible alternative Kraftstoffe in Frage – Biokraftstoffe, Erdgas und Flüssiggas. Große Erwartungen richten sich im Pkw-Bereich auf Elektromobilität, Hybrid- und Wasserstofftechnologie.

Was können diese alternativen Antriebstechnologien im Nutzfahrzeugbereich mittelfristig leisten? Schließlich wird ein Großteil der vom motorisierten Straßengüterverkehr verbrauchten Energie von Fahrzeugtechnik und Fahrverhalten bestimmt – ein Grund mehr, Verbesserungspotenziale in diesem Bereich zu betrachten.

4.1 DIESELANTRIEBE UND DIESELKRAFTSTOFFE

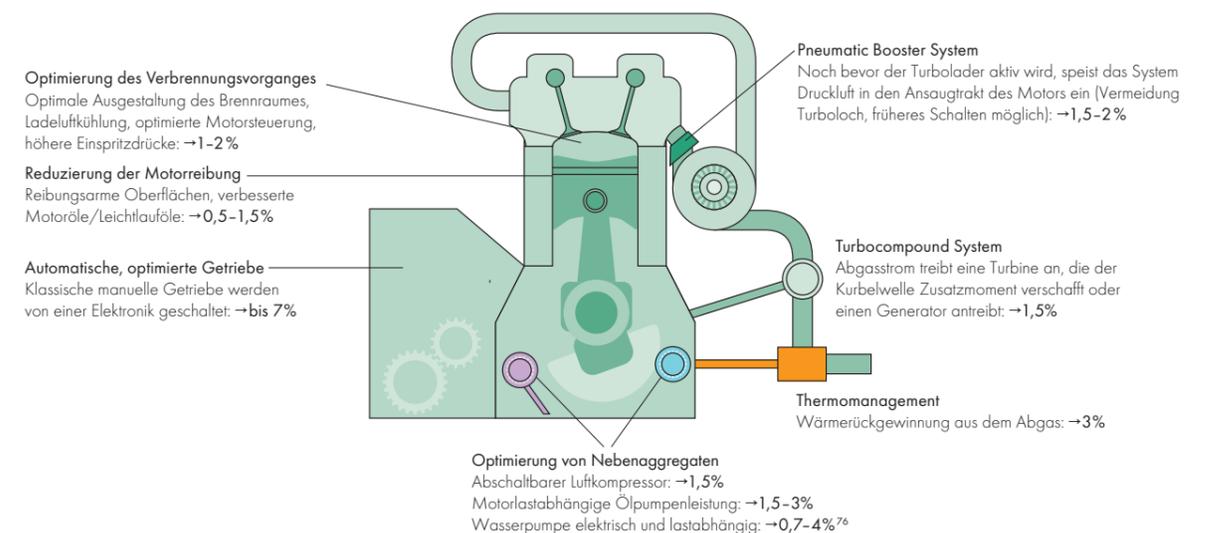
Der Dieselantrieb ist mit 93,5% Marktanteil die derzeit dominante Antriebsform im Straßengüterverkehr.⁵⁰⁾ Ottomotoren kommen nur in der Fahrzeugklasse der leichten Nutzfahrzeuge vor und sind dort nur bei den großen Kombis zahlenmäßig relevant. Bei über 3,5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht spielen Ottomotoren praktisch keine Rolle.

Seit seiner Erfindung im Jahre 1892 wurde der Dieselmotor ständig weiterentwickelt und ist vor allem innerhalb der letzten Jahrzehnte zunehmend zu einem Hightech-Produkt herangereift. Aus dieser langen Entwicklungszeit erwachsen auch die größten Vorteile des Dieselmotors: es existiert eine flächendeckende Infrastruktur von Werkstätten und Tankstellen, der Motor ist enorm zuverlässig und stellt auch dank der hohen Reichweite heute die wirtschaftlichste Antriebsart für Nutzfahrzeuge dar.

Doch der Dieselantrieb ist technologisch noch lange nicht ausgereizt. Triebkräfte der Dieselmotortechnologie waren bisher die Optimierung von Effizienz, Lebensdauer und Kosten sowie die Einhaltung immer strengerer Abgasgrenzwerte. Bedeutende Techniken, welche die Effizienz und die Umweltverträglichkeit

⁵⁰⁾ Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt, Fahrzeugzulassungen – Bestand, Emissionen, Kraftstoffe, 1. Januar 2009, Flensburg März 2009, S. 28.

22 EINSCHÄTZUNG ZU EFFIZIENZPOTENZIALEN BEIM DIESELANTRIEB



Quelle: Ricardo (2009); eigene Darstellung

verbesserten, stellten bisher die Einführung der Direkteinspritzung, die Vierventiltechnik, die Motoraufladung, die Ladeluftkühlung und die elektronisch geregelte Hochdruckeinspritzung dar.⁵¹⁾ Nach wie vor bestehen Einsparpotenziale, die neben der Verbesserung des Dieselmotors (noch höhere Einspritzdrücke, optimierte Motorsteuerung) vor allem auch die Nebenaggregate und den Antriebsstrang (insbesondere die Getriebe) betreffen.⁵²⁾ Aus den in Abbildung 22 dargestellten Optimierungspotenzialen leitet sich mittelfristig ein effektives Einsparpotenzial an Motor und Antriebsstrang von etwa 10% ab. Allerdings lassen sich die Verbesserungswerte aus den Einzelmaßnahmen nicht ohne Weiteres addieren, da einige in einem Interessenkonflikt zueinander stehen.

Kraftstoffeinsparungen in Höhe von 10% bedeuten für Sattelzugmaschinen etwa 3 l/100 km weniger Kraftstoffverbrauch. Eine weitere Verbesserung stößt einerseits an technisch-physikalische Grenzen und erfordert andererseits zusätzliche kostenintensive Maßnahmen. Auch sind die hier vorgestellten Technologien zum Teil mit hohen Entwicklungskosten verbunden und teilweise nur bei weiter steigenden Kraftstoffkosten bzw. bei langen Amortisationszeiten für den

werden zum einen durch die Rohölsorte, zum anderen raffinerietechnisch durch den Prozess der Rohölverarbeitung vorherbestimmt. Zudem werden für Dieseldieselkraftstoff in der europäischen Norm EN 590 Mindestanforderungen definiert – zum Beispiel für Zündwilligkeit, Dichte, Siedebereich oder maximalen Schwefelgehalt. Insgesamt ist die Dieselspezifikation in den letzten 20 Jahren deutlich verschärft worden.⁵⁴⁾ Durch Zugabe von Additiven können Qualität und Leistungsfähigkeit von Dieseldieselkraftstoff noch über die Kraftstoffnorm hinaus verbessert werden.

Ein weiterer, mit konventioneller Dieseldieseltechnologie weitgehend kompatibler Kraftstoff ist synthetischer Diesel aus Erdgas – oder Gas-to-Liquids (GTL). GTL ist etwas leichter als herkömmlicher Diesel, hat eine höhere Cetanzahl – Wert für Zündwilligkeit – und ist praktisch aromatenfrei (siehe auch Tabelle 23). Synthetischer Diesel ermöglicht daher schon mit heutiger Dieseldieseltechnologie eine sauberere Verbrennung. Er ist deswegen vor allem als Dieseldieselersatz bzw. als Beimischung für Fahrzeugflotten in städtischen Ballungsräumen interessant. Erste kommerzielle Mengen sind bereits als Beimischung im Dieseldieselmarkt verfügbar.

23 KRAFTSTOFFQUALITÄTEN

Parameter	Einheit	Diesel DIN 51628	FAME DIN EN 14214	Pflanzenöl DIN V 51605	GTL/HVO/BTL CWA 15940; Class A
Cetanzahl	-	>= 51	>= 51	-	70
Dichte	kg/m ³	820-845	860-900	900-930	770-800
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	%m/m	</= 8	-	-	</= 0,1
Schwefelgehalt	mg/kg	</= 10	</= 10	</= 10	<= 5
Flammpunkt	°C	> 55	> 100	>= 220	> 55
Wassergehalt	mg/kg	</= 200	</= 500	</= 750	</= 200
Oxidationsstabilität	h	</= 20	</= 6	</= 6	k.A.
Viskosität bei 40 °C	mm ² /s	2-4,5	3,5-5	</= 36	2-4,5
Siedebereich (typisch)	°C	ca. 160-360	ca. 300-360	k.A.	ca. 170-350

Quelle: eigene Darstellung

einzelnen Unternehmer wirtschaftlich. Das derzeit absolut erreichbare Minimum beim Verbrauch für Sattelzugmaschinen liegt unter optimalen Testbedingungen und entsprechender Fahrweise sowie bei Nutzung optimierter Betriebsstoffe bei etwa 20 l/100 km.⁵³⁾

Ein weiterer Grund für die weite Verbreitung des Dieseldieselantriebs ist der Dieseldieselkraftstoff. Er verfügt über eine hohe Energiedichte, lässt sich gefahrlos in Tanks speichern und die Betankung von Fahrzeugen kann unter vielen Umgebungsbedingungen erfolgen. Diesel ist ein mineralischer Kraftstoff, der in Raffinerien aus Erdöl gewonnen wird. Seine Eigenschaften

Der Dieseldieselpreis hat in den letzten Jahren stark geschwankt. Er ist stark von internationalen Marktgegebenheiten abhängig; im Einzelnen wird der Dieseldieselpreis durch den Rohölpreis, die Raffinerieproduktion, die Produktnachfrage sowie die Mineralölsteuer bestimmt. Die Mineralölsteuer auf einen Liter Dieseldiesel beträgt heute 47,04 Cent.

Grundsätzlich lässt sich für den Dieseldiesel festhalten: Der Dieseldieselmotor bildet das motortechnische, Dieseldieselkraftstoff das energetische Rückgrat des Straßengüterverkehrs. Der Dieseldiesel wird diese Rolle voraussichtlich auch zukünftig beibehalten. Aufgrund weiterhin fehlender Antriebsalternativen sind Verbesserungen des Dieseldieselantriebs von großer Relevanz für den motorisierten Straßengüterverkehr. Bei kurzen Haltedauern und hohen Fahrleistungen insbesondere von Sattelzügen dürften sich technische Verbesserungen auch rasch im

51) Vgl. Verband der Automobilindustrie, Einfluss der Abgasgesetzgebung auf den Verbrauch von Nutzfahrzeugen, Frankfurt am Main, 2009, S.8; Verband der Automobilindustrie, Das Nutzfahrzeug – umweltfreundlich und effizient, Frankfurt am Main 2008, S. 8.

52) Vgl. Stefan Knecht, Mit Antrieb der Umwelt zuliebe. Logistik ökonomisch und ökologisch effizient gestalten, Straubing, Vortrag am 25.6.2009, S. 30.

53) Vgl. Andreas Renschler, Kraftstoffeffiziente Nutzfahrzeuge für einen nachhaltigen Güterverkehr. Vortrag auf der 62. IAA Nutzfahrzeuge, Hannover 2008. S.4.

54) Vgl. Europäisches Parlament/Rat, Richtlinie 2009/30/EG zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Spezifikationen für Otto-, Dieseldiesel- und Gasölkraftstoffe, ANHANG II, in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 140/88-113, Brüssel, 5.6.2009.

Gesamtverbrauch niederschlagen. Dennoch sind die kurz- bis mittelfristigen Einsparpotenziale des Dieseldieselantriebs technisch begrenzt. Außerdem finden Verbesserungen bei Lkw bis 12 Tonnen und leichten Nutzfahrzeugen wegen der hier deutlich längeren Nutzungsdauern nur langsam Eingang. Umso wichtiger ist es, zusätzlich alternative, aber mit dem Dieseldieselantrieb kompatible Kraftstoffe sowie alternative bzw. ergänzende Antriebe zu entwickeln.

**DIESELANTRIEB
DIESELKRAFTSTOFF**

STECKBRIEF

MARKTDURCHDRINGUNG

Im Januar 2009 waren 93,5% aller zugelassenen Lkw und Sattelzüge Dieseldiesel Fahrzeuge, bei leichten Nutzfahrzeugen lag der Anteil bei 92%. Nutzfahrzeuge tanken heute – wie Pkw auch – hauptsächlich Dieseldieselkraftstoff mit Biodieseldieselbeimischung von bis zu 7%.

ANWENDUNGSBEREICHE

Flächendeckender Einsatz bei allen Nutzfahrzeugen.

CO₂-ERSPARNIS

Mittelfristig sind 10% Kraftstoffeinsparungen und damit auch entsprechend weniger CO₂-Emissionen allein durch Verbesserung der Dieseldieselantriebstechnik zu erwarten.

KOSTEN

Dieseldieselmotoren sind die derzeit preisgünstigste Antriebs-technik; mit der Erfüllung von Euro VI für Lkw und SZM wird das Preisniveau jedoch steigen, wobei nicht zu erwarten ist, dass davon alternative Antriebe stark profitieren können. Langlebige und zuverlässige Motoren sorgen für geringe Wartungskosten. Kraftstoffkosten entwickeln sich in Abhängigkeit von Rohölpreis, Raffinerieerzeugung, Produktnachfrage und Mineralölsteuer.

FAZIT

Weiter optimierte Dieseldieseltechnologie bleibt auf lange Sicht die mit Abstand wichtigste Antriebsart bei den Sattelzugmaschinen und Lkw. Die größten technologischen Substitutionspotenziale ergeben sich bei leichten Nutzfahrzeugen, doch auch hier wird der Dieseldieselantrieb dominieren.

4.2 BIOKRAFTSTOFFE UND BIODIESEL

Biomasse ist sowohl in Deutschland wie auch weltweit der bedeutendste alternative Energieträger. Kraftstoffe aus Biomasse haben sich inzwischen in vielen Ländern zur wichtigsten alternativen Kraftstoffversorgung des motorisierten Straßengüterverkehrs entwickelt. Deutschland ist heute der führende Biokraftstoffmarkt in der EU.

Biokraftstoffe sind flüssig und – zumindest als Beimischung – mit den heutigen Kraftfahrzeugen weitgehend kompatibel. Biokraftstoffe können nach Art der verwendeten Rohstoffe, nach Herstellungsverfahren sowie nach ihren Produkteigenschaften unterschieden werden. Heutige Biokraftstoffe (erster Generation) werden in der Regel aus der Pflanzenfrucht hergestellt, zum Beispiel aus Raps, Mais oder Getreide. Neue Biokraftstoffe können aber auch aus pflanzlichen Reststoffen oder Ganzpflanzen wie Stroh oder Algen produziert werden; diese befinden sich aber vielfach noch in der Entwicklung.⁵⁵⁾

Der heute wichtigste Biokraftstoff für den Straßengüterverkehr ist Biodieseldiesel. Biodieseldiesel wird allgemein auch als Fettsäuremethylester oder kurz Englisch FAME bezeichnet; FAME wird in Europa vor allem aus Rapsöl hergestellt – daher auch RME oder Rapsmethylester. FAME kann aber auch aus Sojaöl, Palmöl sowie zum Teil aus Altspeiseölen oder tierischen Fetten

55) Vgl. Jörg Adolf, Boom in der Biokraftstoffbranche – eine nachhaltige Entwicklung?, in: Wirtschaftsdienst, Jg. 86, 2006, Heft 12, S. 778-785; Elmar Baumann, Biokraftstoffe in Deutschland: Marktübersicht und Entwicklungstendenzen, in: ERDÖL ERDGAS KOHLE, 126. Jg., 2010, Heft 1, S. 26-29.

gewonnen werden. Dabei wird das Pflanzenöl mit Hilfe von Methanol zu Biodieseldiesel chemisch umgesetzt (umgeestert).

Der Qualitätsstandard für Biodieseldiesel wird in Europa durch die Kraftstoffnorm EN 14214 festgelegt.⁵⁶⁾ Im Vergleich zu Dieseldiesel weist FAME ein deutlich verändertes Siedeverhalten auf; dies kann unter anderem dazu beitragen, dass sich Biodieseldiesel im Motoröl anreichert. Die Oxidationsstabilität und damit die

Haltbarkeit sind geringer. FAME ist wasserlöslicher und besitzt zudem gute Lösungsmiteigenschaften; Dichte und Viskosität sind vergleichbar mit regulärem Dieseldiesel. Das Kälteverhalten von FAME (Cloud Point) variiert sehr stark in Abhängigkeit vom eingesetzten Rohstoff; so kann Biodieseldiesel ausschließlich auf Soja- oder Palmölbasis die Anforderungen von EN 14214 nicht erfüllen. Aufgrund seiner Kraftstoffeigenschaften verlangt der Einsatz von Biokomponenten daher zusätzliche Qualitätssicherungsmaßnahmen.

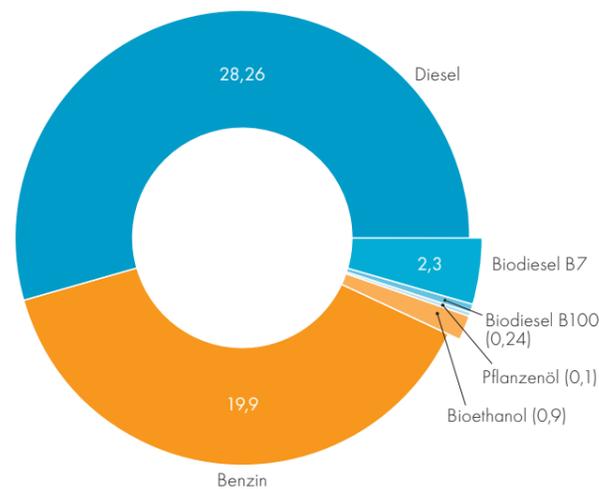
Die Abgasemissionen limitierter Luftschadstoffe sind bei reinem Biodieseldiesel (RME) meist niedriger als bei Dieseldieselkraftstoff – mit der Ausnahme von Stickoxiden. Aufgrund seiner etwas geringeren Energiedichte führt der Einsatz von Biodieseldiesel in der Regel zu einem leichten Mehrverbrauch von etwa 5 bis 10% bei der Verwendung als Reinkraftstoff.

Neben Biodieseldiesel findet heute noch Pflanzenöl (Standard DIN V 51605) – in allerdings geringeren Mengen – für Dieseldieselmotoren Verwendung. Reines Pflanzenöl ist jedoch für moderne Direkteinspritzer ungeeignet. Da Pflanzenöl weniger zündwillig und sehr zähflüssig ist, erfordert der Einsatz reinen Pflanzenöls ferner technische Umbauten am Fahrzeug. Weitere Biokraftstoffoptionen sind hydrierte Pflanzenöle (HVO) oder synthetischer Dieseldiesel aus Biomasse. Beide Optionen weisen dem Dieseldiesel ähnliche, zum Teil sogar überlegene Kraftstoffeigenschaften auf. Sie sind daher mit konventioneller Dieseldieseltechnik besser verträglich als herkömmlicher Biodieseldiesel, stehen allerdings bislang erst in kleinen Mengen zur Verfügung.

56) Zu Kraftstoffqualität und Qualitätssicherung bei Biodieseldiesel vgl. Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodieseldiesel e.V. unter www.agqm.de.

Biokraftstoffe können als Reinkraftstoffe oder als Beimischung zu konventionellem Diesel eingesetzt werden. Pflanzenöle werden in geringeren Mengen nur als Reinkraftstoff verwendet. Biodiesel wird heute in Deutschland in der Regel dem Dieselmotorkraftstoff als Beimischung zugesetzt. Seit Anfang 2009 können dem Diesel entsprechend neuer B7-Norm DIN 51628 bis zu sieben Volumenprozent Biodiesel (B7) beigemischt werden. Auch nach europäischer EN 590-Norm wird B7 ab Ende 2010 möglich – bisher konnten 5% ohne besondere Kennzeichnung beigemischt werden. Eine weitere Erhöhung der Beimischung auf bis zu 10% Biodiesel wird von der EU angestrebt. Darüber hinaus kann Biodiesel auch als Reinkraftstoff (B100) genutzt werden.

24 KRAFTSTOFFANTEILE 2009 IN MIO. TONNEN



Quelle: UFOP (2010)

Die Verwendung von reinem Biodiesel erfordert aufgrund seiner Kraftstoffeigenschaften für den Anwender spezielle Freigaben des jeweiligen Fahrzeugherstellers, Spezialausstattungen sowie zusätzlichen Wartungsaufwand (Ölwechselintervalle, Kraftstofffilter) gegenüber konventioneller Dieseltankung.⁵⁷⁾ Vereinzelt werden auch andere Mischungsverhältnisse diskutiert wie 20 oder 30 Prozent Biodiesel im Dieselmotorkraftstoff, also B20 oder B30. Grundsätzlich müssen diese Kraftstoffmischungen vom Anwender jedoch genauso wie B100 behandelt werden.

Biokraftstoffe sind nach wie vor teurer als mineralische Kraftstoffe. Biodiesel kostet heute im Großhandel etwa 50% mehr als konventioneller Dieselmotorkraftstoff. Der Endverbraucherpreis von reinem Biodiesel und Pflanzenöl profitiert zurzeit noch von einer zeitlich befristeten Ermäßigung der Mineralölsteuer. Für noch marktfähigere neue Biokraftstoffe sind dagegen heute noch keine verlässlichen Preisangaben möglich. Zusätzlich zu den reinen Kraftstoffkosten fallen beim Einsatz von Biokraftstoffen noch erhöhte Wartungs- und Instandhaltungskosten an. Das gilt für normgerechten Biodiesel, noch mehr aber für Pflanzenölkraftstoff.

Der Einsatz von Biokraftstoffen wird maßgeblich von Ordnungsrecht, Steuerpolitik und Fahrzeugtechnik bestimmt.

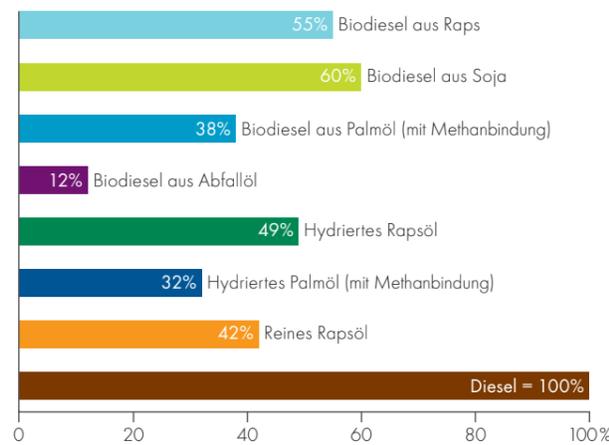
57) Zum Sachstand Herstellerfreigaben vgl. www.ufop.de.

Zunächst war der Biokraftstoffmarkt in Deutschland – dank steuerlicher Begünstigung – ein Nischenmarkt für Reinkraftstoffe, dominiert von reinem Biodiesel. Zum 1. Januar 2004 wurden sämtliche Biokraftstoffe, das heißt auch Biobeimischungen zu konventionellen Kraftstoffen, ebenfalls von der Mineralölsteuer befreit. Im Jahr 2007 erreichte der Biokraftstoffabsatz mit einem Gesamtmarktanteil von 7,2% seinen vorläufigen Höhepunkt; der Verbrauch von Biodiesel und Pflanzenöl stieg auf über 4 Mio. Tonnen – 2,6 Mio. Tonnen davon Reinkraftstoffe.

Zum 1. Januar 2007 wurde die Steuerbefreiung durch eine Beimischungsverpflichtung abgelöst. Nach ihrer letzten Änderung im Sommer 2009 haben Inverkehrbringer von Kraftstoffen in den Jahren 2010 bis 2014 über alle vermarkteten Kraftstoffe eine Bioquote von 6,25% sowie eine Unterquote von 4,4% beim Diesel zu erfüllen. Veränderte steuerliche, regulatorische und auch fahrzeugtechnische Rahmenbedingungen haben zuletzt zu einem starken Wandel des Biokraftstoffmarktes in Deutschland geführt. Im Jahr 2009 erreichten Biokraftstoffe einen Marktanteil von 5 1/2%. Dabei spielen Reinkraftstoffe nur noch eine untergeordnete Rolle. Der Verbrauch von Biodiesel und Pflanzenölen sank auf 2,6 Mio. Tonnen; ihr Anteil am Dieselmotorkonsum ging von über 12% (2007) auf nunmehr gut 8% zurück (vgl. Abbildung 24). Die Ausbauziele für Biokraftstoffe in Deutschland liegen bei 12 bis 15% bis 2020.⁵⁸⁾ Die EU fordert bis dahin mindestens 10% erneuerbare Energien im Verkehrssektor, wobei der größte Anteil von Biokraftstoffen zu erwarten ist.⁵⁹⁾

Die Potenzialschätzungen für Bioenergie gehen weit auseinander. Überdies konkurriert der vermehrte Einsatz von Biokraftstoffen mit anderen Verwendungen – für die Nahrungsmittelproduktion, für Wärmeerzeugung oder stoffliche Verwendung. Insgesamt dürften mittel- bis langfristig jedoch ausreichend Biomassepotenziale für einen substanziellen

25 KLIMABILANZ BOKRAFTSTOFFE



Quelle: EU-RL 2009/28/EG

58) Vgl. Bundesumweltministerium, Weiterentwicklung der Strategie zur Bioenergie, Berlin, April 2008, S. 19f.

59) Vgl. Europäisches Parlament/Rat, Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 140/16, Brüssel, den 5.6.2009, Ziff. 8f.

BIOKRAFTSTOFFE

STECKBRIEF

2009 wurden in Deutschland ca. 2,6 Mio. Tonnen Biokraftstoffe abgesetzt, 2,3 Mio. Tonnen davon Biodiesel. Markt wird dominiert von Zumischungen; in der Regel werden Diesel heute bis zu 7% Biodiesel beigemischt. Biogene Reinkraftstoffe haben nur noch geringen Marktanteil; Bioanteil am Dieselmotorkonsum in Deutschland zurzeit bei 8%.

MARKTDURCHDRINGUNG

KOSTEN

Biodiesel (B100) ist im Großhandel heute ca. 50% teurer, an der Tankstelle meist etwas billiger als normaler Diesel. Wegen etwas geringerer Energiedichte ist auch der Verbrauch etwas höher. Zusätzlich zu reinen Betriebskosten müssen beim Einsatz von Biodiesel und Pflanzenöl – vor allem in Reinform – erhöhte Wartungs- und Instandhaltungskosten einkalkuliert werden.

ANWENDUNGSBEREICHE

Flächendeckender Einsatz bei allen Nutzfahrzeugen.

CO₂-ERSPARNIS

Biokraftstoffe unterscheiden sich vor allem bei ihrer Herstellung; ihre Treibhausgasemissionen schwanken sehr stark. Die EU geht davon aus, dass Biodiesel aus Raps heute zu Treibhausgaseinsparungen von etwa 40% gegenüber konventionellem Diesel führt.

FAZIT

Biokraftstoffe verbreitern den Kraftstoffmix schon heute. Mittelfristig dürfte Biodiesel oder FAME auch weiterhin die wichtigste biogene Kraftstoffalternative sein. Neue Biokraftstoffe zweiter Generation befinden sich noch in Entwicklung. Nachhaltige Biokraftstoffe sind ein Element für eine verbesserte Klimaperformance des Straßengüterverkehrs.

Beitrag zur globalen Energieversorgung in einer Größenordnung von 10% zur Verfügung stehen.⁶⁰⁾

Zudem hat der Einsatz von Bioenergie zu Nachhaltigkeitsdiskussionen geführt.⁶¹⁾ Deshalb müssen Biokraftstoffe künftig verbindliche Kriterien für eine nachhaltige Biokraftstoffproduktion erfüllen; denn nur nachhaltige, zertifizierte Biokraftstoffe werden noch auf die Bioquoten angerechnet bzw. erhalten Steuerermäßigung. Neben Geboten des Umwelt- und Naturschutzes müssen Biokraftstoffe besondere Anforderungen an ihre Klimabilanz erfüllen. Danach müssen Biokraftstoffe CO₂-Emissionsminderungen gegenüber mineralischem Diesel von mindestens 35% nachweisen, ab 2017/18 sind es – je nach Baujahr der Erzeugungsanlage – 50 bis 60%. In Abhängigkeit von vorheriger Flächennutzung, verwendeter Pflanzenart und Anbaumethode ergeben sich jedoch zum Teil sehr große Unterschiede in der Klimabilanz – das zeigen bereits die von der EU festgelegten Standardwerte für die Treibhausgasemissionen der Biokraftstoffe (vgl. Abbildung 25).⁶²⁾

Biokraftstoffe verbreitern den Kraftstoffmix. Sie sind die einzige Kraftstoffoption, die fossile Kraftstoffe schon heute (teilweise) ersetzen und ergänzen kann. Mittelfristig dürfte Biodiesel oder FAME auch weiterhin die wichtigste biogene Kraftstoffalternative für den Straßengüterverkehr darstellen. Heutige Biokraftstoffe können, wenn sie nachhaltig produziert werden, ein wichtiger Baustein einer jeden Nachhaltigkeitsstrategie für den Verkehrssektor sein.

4.3 KOMPRIMIERTES ERDGAS (CNG)

CNG – Compressed Natural Gas – steht für komprimiertes Erdgas als Kraftstoff. Dieser gasförmige Kraftstoff wird in Druckbehältern mitgeführt und in modifizierten Verbrennungs-

motoren verbrannt. Seit Mitte der 1990er Jahre verkehren in Deutschland serienmäßige CNG-Fahrzeuge, die meisten davon als Pkw oder Busse des öffentlichen Verkehrs. Im Nutzfahrzeugbereich sind fast 14.000 leichte Nutzfahrzeuge mit CNG-Antrieb unterwegs; diese Fahrzeuge stellen in ihrer Klasse einen Anteil von 0,8% der in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge.⁶³⁾ Im Bereich schwerer Nutzfahrzeuge finden sich erst einige hundert Fahrzeuge, viele davon lediglich zu Testzwecken oder aber im Einsatz in kommunalen Flotten (z. B. Hausmüllabholung); derzeit erwägt wohl nur ein Fahrzeughersteller die Serienfertigung schwerer CNG-Lkw mit bis zu 26 Tonnen ab 2010 aufzunehmen.

Erdgas hat eine geringe Energiedichte und wird daher in Druckbehältern bei 200 bar gespeichert, komprimiert liegt die Energiedichte bei ca. 2.600 kWh/m³. Grundsätzlich sind zwei Erdgasqualitäten zu unterscheiden: L für low und H für high. H-Gas besitzt einen höheren Methangehalt und Heizwert. Aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften verbrennt Erdgas sehr sauber und sorgt damit für geringe Motorrohmissionen. Wegen des geringen Kohlenstoffanteils entstehen zusätzlich geringere Mengen CO₂ als bei der Verbrennung von Diesel. Fahrzeuge mit CNG-Antrieb können theoretisch bis zu 10% weniger CO₂ als vergleichbare Dieselmotoren ausstoßen.⁶⁴⁾ Bei aktuell eingesetzten Nutzfahrzeugmodellen sind derzeit allerdings in der Praxis keine CO₂-Ersparnisse nachweisbar. Es ist sogar in Abhängigkeit von den konkreten Einsatzbedingungen möglich, dass die CO₂-Emissionen höher ausfallen als die eines Fahrzeugs mit Dieselantrieb.⁶⁵⁾ Eine mögliche Ursache dafür ist, dass die in den Fahrzeugen eingebauten Motoren vorwiegend modifizierte Ottomotoren sind (ca. 10% geringerer Motorwirkungsgrad als Dieselmotoren). In Zukunft sind jedoch Entwicklung und Einsatz effizienterer CNG-Motoren denkbar.

60) Vgl. dazu zum Beispiel European Renewable Energy Council / Greenpeace, Energy [R]evolution, Brüssel/Amsterdam 2008, S. 124f. sowie Shell International, Shell Energy Scenarios to 2050, o.a.O., S. 46.

61) Vgl. Jörg Adolf, Biokraftstoffe, Nachhaltigkeit und Unternehmensreputation. Herausforderungen für das Issues Management bei Shell, in: Michael Kuhn, Gero Kalt, Achim Kinter (Hrsg.), Strategisches Issues Management, Frankfurt/M., S. 119-127.

62) Vgl. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Leitfaden Nachhaltige Biomasseherstellung, Bonn, Januar 2010, S. 52-62, www.ble.de.

63) Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt, Fahrzeugzulassungen – Bestand, Emissionen, Kraftstoffe, o.a.O., S. 28.

64) Vgl. Ernst Pucher, Jan Müller, Sauberer Güterverkehr in Wien, Wien 2005, S. 13.

65) Vgl. Robert Edwards et al., Well-to-Wheel Analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Europäische Kommission (Hrsg.), Brüssel 2006.

Auch von der Hybridisierung könnte der CNG-Antrieb stärker als der Dieselantrieb profitieren, sodass die CO₂-Emissionen künftig geringer als die eines vergleichbaren, hybriden Dieselfahrzeuges ausfallen würden. Weiterhin verspricht der Betrieb mit Biogas, das CNG als Kraftstoff ohne technische Anpassung der Motoren ersetzen kann, zusätzliche große CO₂-Einsparungspotenziale. Ein mit Biogas befülltes Erdgasfahrzeug ermöglicht, abhängig von den bei der Biogasgewinnung entstehenden Treibhausgasen, einen Betrieb mit 60 bis 90% geringeren CO₂-Emissionen als mit Dieselmotoren.

Entgegen älterer Darstellungen ist die Schadstoffbilanz des CNG-Motors – speziell bei den Emissionen von NO_x und SO₂ – gegenüber dem Dieselmotor nur noch unwesentlich besser, denn mit den strengeren Euronormen hat der Dieselmotor seine Schadstoffemissionsbilanz signifikant verbessern können. Lediglich bei den Partikelemissionen ist der CNG-Motor selbst Dieselmotoren mit nachgeschaltetem Partikelfilter überlegen und kann den Euro-VI-Partikelgrenzwert ohne zusätzliche Modifikationen erreichen. Für Euro VI wird allerdings auch der CNG-Motor mit den für Dieselfahrzeuge entwickelten SCR-Systemen ausgerüstet werden müssen.⁶⁶⁾ Einen weiteren Vorteil zieht der CNG-Motor aus seinen geringen Lärmemissionen, diese liegen um 50% unter den Lärmemissionen eines vergleichbaren Dieselmotors.

Ein weiteres Argument für den CNG-Antrieb sind die aktuell geringeren Kosten für Erdgas. Sie liegen pro zurückgelegtem Kilometer für manche Modelle 25% unter den Dieselmotoren. Dies resultiert vor allem aus dem bis zum 31. Dezember 2008 ermäßigten Energiesteuersatz. Die CNG-Steuer liegt zurzeit bei etwa 20% des Steuersatzes für Superbenzin und bei ca. 35% der Dieselsteuer.⁶⁷⁾ Der ermäßigte Steuersatz reduziert einen (für 2009 angenommenen) CNG-Preis von 95 Cent/kg um ca. 25 Cent im Vergleich zu einer Diesel-analogen Besteuerung.⁶⁸⁾ Allerdings gibt es aufgrund der bundesweit

geringen Zahl von weniger als 1.000 Erdgastankstellen bislang keine einheitliche Preispositionierung von CNG, sodass die Abgabepreise zum Teil deutlich variieren.⁶⁹⁾

Da die Anschaffungskosten für ein mit Erdgas angetriebenes leichtes Nutzfahrzeug oder einen Lkw um ca. 10 bis 30% höher liegen als für ein vergleichbares Nutzfahrzeug mit Dieselantrieb, ist die Wirtschaftlichkeit eines CNG-Fahrzeuges nur unter der Bedingung hoher Fahrleistungen gegeben. In der Diskussion mit Flottenbetreibern werden noch weitere Nachteile genannt, wie die geringe Reichweite bei gleichzeitig geringer Tankstellendichte, die Dauer des Tankvorganges und die allgemeine Fahrzeugwartung. Somit ergeben sich bei den befragten Flottenbetreibern aus den Bereichen Hausmüllabholung und Kurier-, Express- und Paketdienstleistungen trotz der geringeren Kraftstoffpreise jährliche Mehrkosten gegenüber reinen Dieselfahrzeugen von etwa 30%.⁷⁰⁾

Den verbreitetsten Anwendungsbereich des CNG-Antriebs stellt der städtische Verkehr mit leichten und mittelschweren Nutzfahrzeugen auf Grundlage einer noch ausreichenden Tankstellendichte dar. Ebenfalls gut etabliert sind Erdgasbusse, die zudem den technischen Vorteil bieten, dass ausreichend Raum für die Erdgastanks zur Verfügung steht. Für den städtischen Einsatzraum sprechen dabei vor allem die Vermeidung von Partikel- und Lärmemissionen.

Im Güterkraftverkehr wird der CNG-Antrieb bei Lkw und leichten Nutzfahrzeugen in Zukunft eine wachsende, aber dennoch eine Nischentechnologie bleiben. Für den Fernverkehr ist der CNG-Antrieb mit Reichweiten von bis zu 300 km derzeit für keine Lkw-Gewichtsklasse geeignet. Eine Ausrüstung von schweren Lkw mit CNG-Antrieb erscheint allein in räumlich begrenzten Einsatzgebieten, wie zum Beispiel für Hafenumsetzverkehre oder kommunale Dienste geeignet zu sein.

CNG-LKW		
STECKBRIEF	MARKTDURCHDRINGUNG	
14.000 CNG-Nutzfahrzeuge in Deutschland (0,8% aller leichten Nutzfahrzeuge); zusätzlich wenige hundert Lkw mit über 2 Tonnen Nutzlast.		
ANWENDUNGSBEREICHE	KOSTEN	
Städtischer Bereich, Nahverkehr oder in festen Relationen.	Anschaffungskosten: 10 bis 30% mehr als ein Dieselfahrzeug. Kraftstoffkosten pro km um ca. 5 bis 25% niedriger als beim Diesel, abhängig vom Einsatz; jedoch keine einheitliche Preispositionierung. Die Mineralölsteuerermäßigung wird zum 1.1.2019 deutlich gekürzt. Wirtschaftlich nur bei hohen Fahrleistungen, späte Amortisation.	
CO₂-ERSPARNIS	FAZIT	
Unterschiedlich – von keine über bis zu 15% bis hin zu 25% im Vergleich zu Euro-V-Dieselantrieb.	CNG-Antriebe sind ausgereifte, alternative Antriebe für Nutzfahrzeuge. Derzeit nicht so effizient wie Dieselmotoren. Wird das Effizienzpotenzial aktiviert, können Wirtschaftlichkeit und CO ₂ -Ausstoß verbessert werden. Zusätzliches CO ₂ -Minderungspotenzial bietet Betrieb mit Biogas. Wegen der geringen Reichweite wird aus heutiger Sicht der CNG-Antrieb im Fernverkehr keine Rolle spielen können. Fahrzeughersteller bieten im Nutzfahrzeugsbereich bereits einzelne Serienmodelle als CNG-Fahrzeuge an.	

66) Vgl. Ricardo, Review of low carbon technologies for Heavy Goods Vehicles, London Juni 2009, Annex 1, S. 191f.

67) Vgl. Deutsche Energieagentur, Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix. Berlin 2010, S. 20f.

68) Vgl. § 2 Energiesteuergesetz: Steuer auf Erdgas bis 31.12.2018: 13,90 €/MWh, ab 31.12.2018: 31,80 €/MWh.

69) Hella Engerer, Manfred Horn, Erdgas im Tank für eine schadstoffarme Zukunft. DIW Wochenbericht, 75. Jahrgang, Berlin 2008 Nr. 50/2008, S. 788-795.

70) Vgl. BSR Berliner Stadtreinigung, Klimafreundliche Abfallsammelfahrzeuge; Interview mit Vertreter BSR (H. Sackmann) sowie DHL, Interview mit DHL Vertreter (H. Tauer).

4.4 FLÜSSIGGAS (LPG)

LPG, in Deutschland auch als Autogas bekannt, steht für Liquefied Petroleum Gas und bezeichnet ein Flüssiggasgemisch aus Butan und Propan, welches zum Beispiel als Nebenprodukt von Raffinerieprozessen anfällt. LPG wird als Reinkraftstoff in modifizierten Ottomotoren eingesetzt, die dann auch weiterhin mit Ottokraftstoff betrieben werden können. Neuerdings wird LPG auch in Dieselmotoren verwendet, die wiederum komplett auf LPG umgerüstet werden müssen, oder in Bi-Fuel-Dieselmotoren, indem LPG dem Dieselmotoren direkt vor der Verbrennung beigemischt wird. Das Autogas wird in speziellen Tanks mitgeführt.⁷¹⁾

LPG besitzt als Flüssiggas bei einem Druck von 5-10 bar eine volumenbezogene Energiedichte von 6.900 kWh/m³; das ist deutlich mehr als CNG. Hierdurch wird eine recht große Reichweite ermöglicht – ca. 400 km bei einem leichten Nutzfahrzeug. Zum anderen bleiben Größe und Gewicht der Gastanks klein (ca. 100 kg Zusatzgewicht bei leichten Nutzfahrzeugen). Mit über 3.000 LPG-Tankstellen existiert in Deutschland bereits ein dichtes LPG-Versorgungsnetz.

LPG ist in der Pkw-Flotte nach Otto-, Diesel- und Biokraftstoff die viertwichtigste Kraftstoffalternative für über 300.000 Fahrzeuge. Auch im Nutzfahrzeugsbereich nahm der Bestand an LPG-Nutzfahrzeugen um 100% von Januar 2008 bis Januar 2009 zu. Das Niveau des Nutzfahrzeugbestands ist jedoch nach wie vor niedrig. Im Januar 2009 waren es gerade einmal 4.600 LPG-Nutzfahrzeuge bei einem

LPG-LKW		
STECKBRIEF	MARKTDURCHDRINGUNG	KOSTEN
4.600 LPG-Nutzfahrzeuge in Deutschland; davon wenige schwere Nutzfahrzeuge.		Nachrüstkosten für leichte Nutzfahrzeuge mit Ottomotor ähnlich wie bei Pkw bei ca. 3.000 €, Diesel sind technisch nachrüstbar (Bi-Fuel oder komplette Umrüstung), doch bisher nur wenige Beispiele, sodass Kosten stark schwanken. Kraftstoffkosten: pro km bis zu 15-25% niedriger als beim Diesel in Abhängigkeit vom LPG-Preis. Wirtschaftlich bereits nach wenigen Jahren.
ANWENDUNGSBEREICHE	CO₂-ERSPARNIS	FAZIT
Einsatzmöglichkeit in allen Nutzfahrzeugsegmenten.	Anbieter von Umrüstungen werben mit Einsparungen von 15%, wobei keine Angaben von Nutzern dies bestätigen.	LPG-Antrieb wird als Umrüstung für Fahrzeuge mit Otto- und Dieselmotoren angeboten. Ist mit dem CNG-Antrieb vergleichbar; allerdings wird LPG anders als CNG nicht vergleichbar stark vermarktet. LPG-Antrieb bleibt voraussichtlich auch weiterhin eine Nische.

gesamten Bestand von insgesamt 2,5 Mio. Nutzfahrzeugen; das entspricht weniger als 0,2% des Bestandes.⁷²⁾

Der Schadstoffausstoß ist je nach eingesetzter Technikvariante unterschiedlich. So kann ein schweres Nutzfahrzeug mit Dieselantrieb nach der Umrüstung auf Autogas die Einstufung in die umweltfreundliche EEV-Klasse erhalten und damit auch

71) Vgl. Manfred Heinker, Teurer Diesel war gestern – heute fährt der Lkw mit Flüssiggas. AutoGas Journal, Heft 06/07, Jg. 1, 2008, S. 36-40.

72) Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt, Fahrzeugzulassungen – Bestand, Emissionen, Kraftstoffe, a.a.O., S. 28.

seine Mautkosten reduzieren. Bei allen Varianten werben die Anbieter mit geringeren CO₂-Emissionen in der Größenordnung von 15%, wobei hierzu keine Angaben von Flottenbetreibern im Nutzfahrzeugsbereich zur Bestätigung im konkreten Einsatz vorliegen.

Die Mehrkosten eines LPG-Fahrzeuges sind auf die Kosten der Umrüstung zurückzuführen und liegen für leichte Nutzfahrzeuge bei etwa 3.000 € gegenüber der Benzinvariante. Die Umrüstung eines schweren Lkw auf den Bi-Fuel-Betrieb kostet etwa 6.000 €, wobei im Fernverkehr, nach Herstellerangaben, 5 Cent/km an Treibstoffkosten eingespart werden können. Kosten für die vollständige Umrüstung von Dieselmotoren schwerer Nutzfahrzeuge auf reinen LPG-Betrieb werden von einem Anbieter mit 35.000 € angegeben. Die beiden zuletzt genannten Umrüstetechniken sind bisher am Markt nicht verbreitet und die Umrüstkosten können deshalb noch stark schwanken.

Die Anschaffung eines LPG-Fahrzeuges ist vor allem unter dem Aspekt sinnvoll, dass der Kraftstoff im Vergleich zum Diesel preiswerter ist. Das liegt unter anderem am ermäßigten Energiesteuersatz von umgerechnet 9,8 Cent/l, dem LPG noch bis zum 31. Dezember 2018 unterliegt. Nach dem Wegfall der Steuerermäßigung wird der normale Energiesteuersatz erhoben und steigt auf 22 Cent/l an. Derzeit kostet ein Liter LPG an der Tankstelle ab 45 Cent pro Liter; der Preis kann regional auch deutlich darüber liegen.

Berücksichtigt man die etwa 30% höhere Energiedichte von einem Liter Diesel gegenüber LPG, sind die Kraftstoffkosten

bei LPG etwa 35% unter denen eines Dieselfahrzeuges. Bei entsprechend hohen Fahrleistungen können sich die Mehrkosten der LPG-Umrüstung also nach wenigen Jahren bezahlt machen.

Insgesamt dürfte LPG – ähnlich wie CNG – im Nutzfahrzeugsbereich bis auf Weiteres eine Nischentechnologie bleiben. Impulse für LPG können sich künftig möglicherweise aus dem Pkw-Bereich für leichte Nutzfahrzeuge und Lkw ergeben.

4.5 HYBRID- UND ELEKTROANTRIEB

In der jüngeren Vergangenheit ist es zu einer immer stärkeren Elektrifizierung und Hybridisierung des Antriebsstrangs gekommen. Von Hybridtechnologie und Elektromobilität werden große technologische Impulse für die Fahrzeugentwicklung erwartet.

Hybridtechnologie zeichnet sich durch zwei Motoren, einen Elektromotor und einen Verbrennungsmotor sowie zwei Energiespeicher (einen Kraftstofftank und einen Akkumulator) aus. Mit diesen Komponenten sind verschiedenste Fahrzeugkonfigurationen möglich, denn beim Hybrid müssen mehrere Varianten unterschieden werden (siehe Abbildung 26).

So können die Fahrzeuge zum einen nach der Art der Kombination von Elektromotor und Verbrennungsmotor in serielle, parallele und Mischhybride und zum anderen nach der Leistungsfähigkeit des Elektromotors in Micro-, Mild-, Full- und Plug-in-Hybride eingeteilt werden. Allen Kombinationen ist jedoch gemeinsam, dass sie mit dem Ziel konstruiert sind, Kraftstoff einzusparen und eingesetzte Energie effizient zu verwenden.

Mit dem gleichen Ziel wird die Entwicklung von reinen Elektrofahrzeugen vorangetrieben. Diese Fahrzeuge werden ausschließlich mit einem Elektromotor angetrieben und

verfügen über einen Akkumulator als Energiespeicher. Da Hybrid- und Elektrofahrzeuge Technologien wie Elektromotor und Akkumulator teilen, können sie auch von ähnlichen Vorteilen profitieren, haben andererseits aber auch Nachteile, die minimiert werden müssen. Neben dem Vorteil der geringeren Schadstoffemissionen vor allem bei einer rein elektrischen Betriebsweise – diese erlaubt je nach der Form der Hybridisierung nur eine begrenzte Entfernung zurückzulegen – sind als Nachteile insbesondere die Kosten und Alltags-tauglichkeit heutiger Batteriesysteme zu nennen.

Als alternative Antriebsform stehen Hybrid- und Elektroantrieb im Nutzfahrzeugbereich erst am Anfang ihrer Entwicklung. Diese Tatsache bestätigt sich auch in den Zulassungszahlen von 79 Hybrid- und 874 Elektro-Nutzfahrzeugen in allen Fahrzeugklassen zum 1. Januar 2009.⁷³⁾ Im Gegensatz zum Pkw-Bereich werden im Nutzfahrzeugbereich noch keine Hybridfahrzeuge serienmäßig angeboten. Das Angebot beschränkt sich noch auf einige Vorserienfahrzeuge und Prototypen.

Für verschiedene Hybridkonzepte und Fahrzeugklassen ergeben sich unterschiedliche Kraftstoffeinsparungspotenziale; diese sind in Tabelle 27 auf der nächsten Doppelseite brutto,

73) Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt, Fahrzeugzulassungen – Bestand, Emissionen, Kraftstoffe, a.a.O., S. 28.

das heißt ohne Gegenrechnung von Fahrstrom, dargestellt. Danach ergeben sich für den Einsatz im städtischen Liefer- und Verteilerverkehr durchschnittliche Einsparpotenziale im Vergleich zum konventionellen Diesel von etwa 5% für die Start-Stopp-Automatik, von 20 bis 30% für Voll-Hybridfahrzeuge, bis hin zu 40% für Plug-in-Hybridfahrzeuge. Prinzipiell lässt sich ableiten, dass sich die Kraftstoffeinsparungen erhöhen, wenn leistungsfähigere Akkus und Elektromotoren auf längeren Fahrabschnitten genutzt werden, ohne dass der Dieselmotor zugeschaltet werden muss, und wenn das Fahrmuster der Fahrzeuge häufige Starts und Stopps aufweist.

Die Bemühungen zum Einsparen von Kraftstoff führen auch zu einem geringeren CO₂-Ausstoß von Hybrid- und Elektrofahrzeugen. Bei Hybridfahrzeugen entspricht die CO₂-Ersparnis der Kraftstoffersparnis und bewegt sich demnach im Rahmen von 5 bis 20%.

Bei Elektrofahrzeugen und Plug-in-Hybriden hängt die Treibhausgasbilanz von den Emissionen, die durch die Bereitstellung des Stromes entstehen, ab.

Eine Beispielrechnung anhand eines leichten Nutzfahrzeuges verdeutlicht diesen Zusammenhang: Ein elektrisch betriebenes leichtes Nutzfahrzeug hat bei heutiger Technologie einen Stromverbrauch von etwa 0,3 kWh/km. Verrechnet man dies mit dem spezifischen CO₂-Ausstoß im deutschen Strommix von etwa 596 gCO₂/kWh (Wert für 2006), dann erhält man CO₂-Emissionen von etwa 180 gCO₂/km.

Verglichen mit dem durchschnittlichen CO₂-Ausstoß leichter Nutzfahrzeuge im Jahre 2005 auf Grundlage von Verbrauchsauswertungen – real ca. 230 gCO₂/km – bedeutete dies einen Rückgang der Treibhausgasemissionen von etwa 23%.

Ein Faktor, der die Life-Cycle-CO₂-Emissionen von Hybrid- und Elektrofahrzeugen zusätzlich belastet, ist der hohe Energieaufwand zur Herstellung der Batterien. Legt man diesen Energieaufwand für die Batterieherstellung auf die Fahrzeugkilometer eines elektrisch betriebenen leichten Nutzfahrzeuges um, so schlägt dieser Posten in Abhängigkeit von Fahrleistung und Lebensdauer der Batterien deutlich zu Buche.

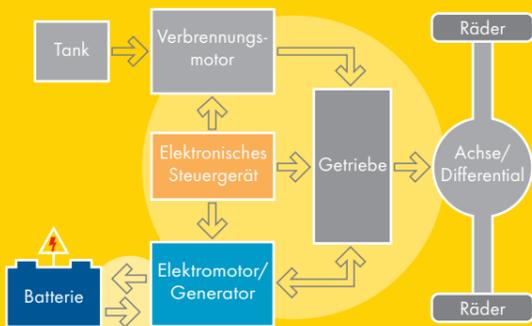
Als Richtwert gilt für heutige Bedingungen, dass reine Elektrofahrzeuge ein CO₂-Minderungspotenzial von etwa 15 bis 30% haben.⁷⁴⁾ Erst die Verfügbarkeit von großen Mengen CO₂-frei erzeugten Stromes wird dazu führen, dass Elektro- und Plug-in-Hybridfahrzeuge größere CO₂-Einsparungen erreichen können.

Der Vorteil für die Nutzer dieser Fahrzeuge besteht somit erst einmal darin, die CO₂-Emissionen langfristig zu reduzieren und innerhalb eines zum Beispiel von einer Stadt festgelegten Gebietes vollkommen ohne Schadstoffemission fahren zu können.

74) Vgl. Rolf Fischknecht, Marianne Lauenberger, Elektroauto – Königsweg oder Sackgasse? Arbeitskreis Umwelt MitarbeiterInnen Daimler AG, Präsentation, Sindelfingen 29.6.2009, S. 48.

26 HYBRIDTECHNIK

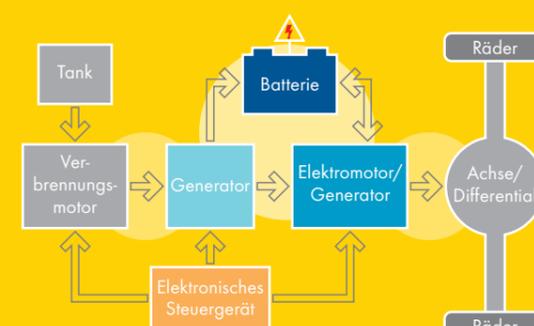
FUNKTIONSPRINZIP DES PARALLEL-HYBRIDS



Elektrische Leistungsübertragung Mechanische Leistungsübertragung

Verbrennungsmotor und Elektromotor wirken gemeinsam auf die Antriebswelle. Bei Leistungsspitzen werden Verbrennungsmotor und Elektromotor gemeinsam mit hoher Leistung betrieben. So ist es möglich, Verbrennungs- und Elektromotor jeweils kleiner und sparsamer ausulegen. Diese Technologie erfordert eine komplizierte Leistungselektronik sowie ein Getriebe und kommt bei heutigen Hybrid-Lkw bevorzugt zur Anwendung.

FUNKTIONSPRINZIP DES REIHEN-HYBRIDS



Elektrische Leistungsübertragung Mechanische Leistungsübertragung

Der Verbrennungsmotor treibt ausschließlich einen Generator an, dessen elektrische Energie direkt dem Elektromotor oder dem Akkumulator zugeführt wird. Der Verbrennungsmotor ist vergleichsweise schwach ausgelegt, da Leistungsspitzen durch Energie aus dem Akku abgedeckt werden. Der Elektromotor muss dagegen so stark sein, dass er alle Leistungsanforderungen des Fahrzeuges bedienen kann. Beim seriellen Hybrid, wie er in Stadtbussen zum Einsatz kommt, ist kein Getriebe notwendig.

MISCHFORMEN

Es gibt noch weitere Hybridformen, welche die Eigenschaften von parallelen und seriellen Hybriden durch den Einsatz komplexer Leistungselektronik und weiterer Getriebe variabel miteinander kombinieren:

Micro-Hybrid – Start-Stop-Automatik

Micro-Hybride sind mit einem sehr kleinen Elektromotor/-generator und einem Akku geringer Kapazität ausgestattet. Bei Stillstand wird der Verbrennungsmotor abgestellt und bei Weiterfahrt mit Hilfe des Elektromotors gestartet. Geringe Mengen der Bremsenergie können im Akku gespeichert und auch zum Betrieb von Nebenaggregaten verwendet werden. Die Verbrauchseinsparungen sind gering. Das Fahrzeug kann nur bei laufendem Verbrennungsmotor fahren.

Mild-Hybrid

Mild-Hybrid-Fahrzeuge besitzen leistungsfähigere Elektromotoren und Akkus, die es ermöglichen, die Traktion zu unterstützen. Dabei unterstützt der Elektromotor den Verbrennungsmotor speziell beim Anfahren und Beschleunigen. Ein größerer Teil der Bremsenergie wird rekuperiert und für den weiteren Antrieb nutzbar gemacht. Der Antriebsstrang ist als Parallel-Hybrid ausgelegt.

Voll-Hybrid

Ein Voll-Hybrid verfügt über leistungsfähige Elektromotoren und Akkus, die es ermöglichen, zeitweise bzw. über längere Strecken rein elektrisch zu fahren. Starke Elektromotoren und Akkus ermöglichen die Auslegung des Antriebsstranges als parallelen, seriellen oder Misch-Hybrid. Bremsenergie wird rekuperiert.

Plug-in-Hybrid

Eine Sonderform der Hybrid-Fahrzeuge stellt der Plug-in-Hybrid dar. Dem Aufbau nach handelt es sich um einen Voll-Hybriden, der zur Ladung der Akkumulatoren nicht allein auf den fahrzeugeigenen Verbrennungsmotor, sondern auch auf extern erzeugten Strom („aus der Steckdose“) zurückgreift.

Quelle: Ricardo 2009, a.a.O., S.137ff.

27 MARKTREIFE, DIESELEINSPARUNG (BRUTTO) UND KOSTEN VON HYBRID- UND ELEKTRO-NUTZFAHRZEUGEN

		Leichte Nutzfahrzeuge		Lkw bis 12 t		Lkw über 12 t	
Start-Stopp-Hybrid	Marktreife	Serienmäßig verfügbar		Serienmäßig verfügbar		Es wird nicht mit Anwendungen der Technologie in dieser Gewichtsklasse gerechnet.	
	Kraftstoffersparnis	Durchschnitt 6%	Maximum 20%	Durchschnitt 3%	Maximum 10%		
	Zusatzkosten	ab 200 €		zum Teil inklusive			
Mild-Hybrid/Voll-Hybrid	Marktreife	zahlreiche Feldversuche, noch keine Kleinserie		Erste Kleinserien in Japan (>500 verkaufte Fahrzeuge), zahlreiche Vorserienfahrzeuge befinden sich im Demonstrationsbetrieb in Deutschland.		Müllfahrzeuge im Feldversuch, Kleinserien frühestens ab 2012	
	Kraftstoffersparnis	Durchschnitt ca. 20%	Maximum 30%	Durchschnitt ca. 20%	Maximum 30%	Durchschnitt 18%	Maximum 30%
	Zusatzkosten	Bei 10 kWh Akkukapazität etwa 1.000 €/kWh Mehrkosten		10.000 € - 20.000 € (etwa 25-35% des Neupreises)		35% Mehrkosten gegenüber einem Standardnutzfahrzeug	
Plug-in-Hybrid	Marktreife	Es existieren Prototypen		-		Entwicklungen in diesem Fahrzeugbereich sind mittelfristig nicht zu erwarten.	
	Kraftstoffersparnis	Bis zu 40%		-			
	Zusatzkosten	10.000-15.000 €		-			
Elektrofahrzeug	Marktreife	Zahlreiche Demonstrationsfahrzeuge, erste Kleinserien in Vorbereitung		Es existieren Prototypen			
	Kraftstoffersparnis	100%		100%			
	Zusatzkosten	Preis für ein 3,5 t-Fahrzeug derzeit noch sehr hoch, erste Kleinserie wird zu Senkung führen		Mehr als 100% teurer als ein Dieselfahrzeug			

Quelle: Ricardo (2009) und andere; eigene Darstellung

Weiterhin stellt Tabelle 27 die entstehenden zusätzlichen Anschaffungskosten eines Hybridfahrzeuges gegenüber einem konventionellen Dieselfahrzeug sowie die Marktreife der entsprechenden Technologien dar. Es zeigt sich deutlich, dass sich die Fahrzeuge mit der Erhöhung des Anteils zum elektrischen Fahren stark verteuern. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass diese Zusatzkosten bei der Herstellung hoher Stückzahlen noch sinken.

Die hohen Kosten von Hybrid- und Elektrofahrzeugen verhindern heute noch einen betriebswirtschaftlich sinnvollen Einsatz und damit den Markterfolg dieser Technologien. Lediglich der Einsatz der Start-Stopp-Automatik amortisiert sich vor allem im Verteilerverkehr recht schnell und ist daher schon am Fahrzeugmarkt erhältlich.

Die Kostentreiber für Hybrid- und Elektrofahrzeuge sind heute noch die Akkumulatoren, welche bei Elektrofahrzeugen etwa zwei Drittel der Mehrkosten verursachen. Die energiebezogenen Kosten der heute leistungsfähigsten Lithium-Ionen Akkus

belaufen sich derzeit auf etwa 500 €/kWh. Da beispielsweise ein kleines Nutzfahrzeug mit der Energie einer Kilowattstunde nur eine Reichweite von unter 4 km erreicht, sind für entsprechend höhere elektrische Reichweiten hohe Zusatzkosten einzukalkulieren.

Aufgrund der angesprochenen Schwächen der Akkumulatoren und deren Kosten, bringen Voll-Hybride, Plug-in-Hybride und rein elektrische Nutzfahrzeuge mit ihren hohen Anforderungen an die Akkumulatoren vorerst schlechte Voraussetzungen mit, um große Markterfolge zu erzielen.

Neben den Kosten der Akkumulatoren bilden auch die Leistungsparameter, wie beispielsweise deren geringe gewichtsbezogene Energiedichte, noch ein Potenzial zur Verbesserung. Heute ist bei Lithium-Ionen Akkumulatoren eine Energiedichte von 0,12 kWh/kg möglich. Um ein leichtes Nutzfahrzeug damit elektrisch, mit einem Verbrauch von 0,3 kWh/km, 100 km weit zu bewegen, sind somit schon 250 kg Batterien an Bord mitzuführen. Gerade im Bereich der

Nutzfahrzeuge, bei denen die Nutzlast ein wichtiges Leistungsmerkmal eines Fahrzeuges darstellt, muss deshalb versucht werden, dieses Zusatzgewicht an anderer Stelle zu kompensieren. Die geringe Energiedichte der Akkumulatoren führt darüber hinaus dazu, dass mit einer vertretbaren Akkumulatormasse nur recht geringe Reichweiten zu erzielen sind.

HYBRID- UND ELEKTROFAHRZEUGE

STECKBRIEF

MARKTDURCHDRINGUNG

Im Jahr 2009 nur 79 Hybrid-Nutzfahrzeuge und 874 Elektro-Nutzfahrzeuge in Deutschland zugelassen. Bei Fahrzeugen bis 12 Tonnen: Start-Stopp-Automatik verfügbar; Hybridfahrzeuge bisher als Prototypen.

ANWENDUNGSBEREICHE

Geeignet für Fahrprofile mit hohem Stop-and-go-Anteil, zum Beispiel kommunale Fahrzeuge, KEP-Dienste und städtischer Sammel- und Verteilerverkehr.

CO₂-ERSPARNIS

Start-Stopp-Automatik: ca. 3 bis 6%, Mild-/Voll-Hybrid: ca. 15 bis 25%, Elektroantrieb: ca. 15 bis 30%.

KOSTEN

Start-Stopp-Automatik bei leichten Nutzfahrzeugen: nur geringe Mehrkosten. Hybridisierung (bis 12 Tonnen): Mehrkosten von ca. 30% des Anschaffungspreises. Elektrofahrzeuge: Mehrkosten derzeit von weit über 100% des Anschaffungspreises.

FAZIT

Start-Stopp-Automatik etabliert sich in den entsprechenden Anwendungsgebieten. Mit Verbesserungen und Kostensenkungen der Batterien können mehr Fahrzeuge vor allem im innerstädtischen Verteilerverkehr mit unterschiedlichen Mild- und Vollhybridantrieben wirtschaftlich mit reinem Diesel-Antrieb konkurrieren. Ein reiner Elektroantrieb wird bei Nutzfahrzeugen vorerst eine Nischenanwendung bleiben.

Da im Bereich von Mild-Hybrid Fahrzeugen schon 2 kWh installierte Akkumulatorenleistung bei einem 12 Tonnen Fahrzeug ausreichen, um effizientere Nutzfahrzeuge zu realisieren, sind dort die ersten Serienfahrzeuge trotz der geringen Energiedichte und hoher Kosten zu erwarten. Es erscheint möglich, dass mit weiter sinkenden Kosten für die Akkumulatoren und Hybridantriebsstränge, Mild-Hybrid-Nutzfahrzeuge im Segment bis 12 Tonnen schon bald wirtschaftlich im Sammel- und Verteilerverkehr betrieben werden können. Damit eröffnet sich vor allem im Kontext des städtischen Verkehrs vermehrt die Möglichkeit eines emissionsarmen und energieeffizienteren Lieferverkehrs.

4.6 WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLE

Die Nutzung des Energieträgers Wasserstoff gilt als eine weitere, langfristige Alternative für einen emissionsfreien Verkehr. Wasserstoff ist Sekundärenergieträger, muss daher erst aus anderen in der Natur vorkommenden Primärenergieträgern erzeugt werden. Der Energieträger Wasserstoff besitzt einen Energiegehalt von 33,3 kWh/kg oder 2.300 kWh/m³ (im flüssigen Zustand unterhalb -259°C). Wasserstoff kann in Form von zwei Antriebskonzepten zum Antrieb von Fahrzeugen eingesetzt werden, zum einen durch Verbrennung in einem Verbrennungsmotor oder zum anderen durch die Nutzung von Brennstoffzellen in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen.

Wasserstoff-Verbrennungsmotoren basieren auf modifizierten Ottomotoren, die statt mit konventionellem Benzin mit Wasserstoff betrieben werden, wobei eine Knallgasreaktion im Brennraum ausgelöst wird. Ein Vorteil des Wasserstoff-Verbrennungsmotors ist die Möglichkeit einer bivalenten Motorauslegung, das heißt, dass die Fahrzeuge sowohl mit Benzin als auch mit Wasserstoff betankt werden können. Im Gegensatz zur ohne Schadstoffemissionen arbeitenden Brennstoffzelle

entstehen bei der Verbrennung von Wasserstoff geringfügige CO-Emissionen. Wasserstoff-Verbrennungsmotoren sind in der Lage, einen Wirkungsgrad von bis zu 42% zu erreichen, sie sind damit ähnlich energieeffizient wie Dieselmotoren.

Im Bereich schwerer Fahrzeuge liegen bisher lediglich im Bussektor umfangreichere Erfahrungen vor. Im EU-Projekt HyFLEET:CUTE wurden 14 Stadtbusse in Hamburg und Berlin mit Wasserstoff-Verbrennungsmotoren getestet.⁷⁵⁾ Die Busse mit etwa 200 kW Leistung legten im Stadtverkehr insgesamt 360.000 km zurück und verbrauchten dabei im Durchschnitt 21,9 kg Wasserstoff pro 100 km; dies entspricht dem Energieäquivalent von 70 l Diesel. Mit der neuesten Entwicklung eines Brennstoffzellen-Hybrid-Busses soll der Wasserstoffverbrauch auf etwa 12 kg pro 100 km gesenkt werden können, was dem Energieäquivalent von etwa 38 l Diesel entspricht und damit in etwa genauso hoch wäre wie bei einem Linienbus mit Dieselantrieb.

Im Gegensatz zur Verbrennung von Wasserstoff wandeln Brennstoffzellen die im Wasserstoff gespeicherte chemische Energie mittels kalter Verbrennung in elektrische Energie um. Diese kann für den Antrieb des Fahrzeuges mittels Elektromotor genutzt werden. Bei Brennstoffzellen entsteht als einziges Reaktionsprodukt Wasser, wodurch Brennstoffzellenfahrzeuge keine lokalen Emissionen erzeugen. Die Eigenschaften von

75) Vgl. HyFLEET:CUTE (2009): Hydrogen Transports, Bus Technology & Fuel for Today and for a Sustainable Future - A Report on the Achievements and Learnings from the HyFLEET:CUTE Project 2006-2009, Konferenz Hamburg, 17./18.11.2009.

Brennstoffzellen ermöglichen es, einen hohen Wirkungsgrad zu erzielen – zum Beispiel erreichen modernste Brennstoffzellenbusse einen Wirkungsgrad von bis zu 58%. Die höhere Effizienz der Brennstoffzelle gegenüber dem Wasserstoffverbrennungsmotor wird allerdings nur zu wesentlich höheren Kosten erreicht. So kostet das Brennstoffzellenset allein für einen Mittelklasse-Pkw derzeit ca. 10.000 €.

Derzeit befinden sich weltweit bereits mehr als 100 Brennstoffzellenfahrzeuge im Rahmen von Demonstrationsprojekten im Einsatz. Es handelt sich bei diesen Fahrzeugen überwiegend um Pkw und Stadtbusse; im Nutzfahrzeugbereich existieren erst wenige Prototypen, die mit Brennstoffzellen angetrieben

verspricht der Einsatz der Brennstoffzelle höhere Wirkungsgrade als der Einsatz im Verbrennungsmotor.⁷⁷⁾

Die noch offenen Fragen der automobilen Wasserstoffwirtschaft lauten: Wie und woraus soll Wasserstoff gewonnen werden? Wie soll die Versorgungsinfrastruktur ausgestaltet werden? Und wie kann Wasserstoff sicher im Fahrzeug gespeichert werden?

Zur weiteren Entwicklung von Wasserstoff im Straßenverkehr gibt es bereits Pläne – zum Beispiel HyWays- bzw. eine Initiative von Industrieunternehmen, die Clean Energy Partnership.⁷⁸⁾

betreffen, bereits bei der Dieselantriebstechnologie abgehandelt worden.

Aerodynamik

Die Aerodynamik hat in den letzten Jahrzehnten infolge der Anstrengungen zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs immer weiter an Bedeutung im Fahrzeugbau gewonnen – sowohl bei den Pkw, aber auch immer stärker bei den Nutzfahrzeugen.

Die Minimierung des Strömungswiderstandes ist heute auch im Nutzfahrzeugbau von herausragender Bedeutung. Denn erstens ist der Luftwiderstand abhängig von der Beschaffenheit des Fahrzeugs, insbesondere seiner Stirnfläche und Windschlüpfrigkeit. Die Frontfläche von Nutzfahrzeugen ist jedoch in der Regel groß, ihr Strömungswiderstand somit vergleichsweise hoch. Klassische Lkw weisen zum Beispiel einen Luftwiderstandsbeiwert – oder kurz c_w -Wert für Widerstandskoeffizient – von 0,5 bis 0,8 gegenüber weniger als 0,3 bei modernen Pkw auf. Zudem ist zu berücksichtigen, dass der Luftwiderstand im Quadrat zur Geschwindigkeit

besteht immer noch erhebliches Potenzial, den Luftwiderstand durch aerodynamische Verbesserungen weiter zu reduzieren. Es gibt unterschiedliche technische Möglichkeiten, um die Aerodynamik von Sattelzügen zu verbessern (Abbildung 29 auf der nächsten Seite). Dazu gehören insbesondere ein stromlinienförmiger Sattelaufleger, Seitenverkleidungen und zahlreiche Spoiler. Mit der Kombination dieser Maßnahmen sind Einsparungen von 15 bis 20% bei einer Autobahnfahrt möglich. Allein der Einsatz stromlinienförmiger Sattelaufleger („Teardrop Trailer“) kann den Luftwiderstand und damit den Kraftstoffverbrauch um etwa 10% reduzieren. Bei Zusatzkosten von lediglich 5.000 € kann sich die Anschaffung sehr schnell amortisieren.⁸¹⁾

Da sich die Verbesserung der Aerodynamik in einem Spannungsfeld mit gesetzlichen Maßvorgaben und dem Bestreben der Spediteure nach maximalem Laderaumvolumen befindet, sind derart umfangreiche Verbesserungen wie dargestellt derzeit nicht zu erwarten. So führt die gewölbte Ausführung des Sattelauflegers entweder zu einer Überschreitung der zulässigen Fahrzeughöhe von 4 Metern oder bei Einhaltung

WASSERSTOFFANTRIEB	
STECKBRIEF	MARKTDURCHDRINGUNG
Im Nutzfahrzeugbereich existieren derzeit nur wenige Demonstrationsfahrzeuge. Sehr optimistische Schätzungen gehen im Jahr 2030 bereits von einem relevanten Marktanteil der Brennstoffzelle bei leichten Nutzfahrzeugen aus.	
ANWENDUNGSBEREICHE	KOSTEN
Die Anwendung wird durch die geringe volumenbezogene Energiedichte des Wasserstoffes bestimmt. Daraus resultiert die Notwendigkeit, Reichweiten und Größe, Nutzlast einschränkender Tanks zu optimieren. Daher wird der Einsatz der Brennstoffzelle in leichten Nutzfahrzeugen vorzugsweise im städtischen und regionalen Verkehr erfolgen.	Es gibt noch keine Serienfahrzeuge, Kosten können daher nicht angegeben werden.
	CO₂-ERSPARNIS
	Bei Wasserstoff aus Elektrolyse mit regenerativer Energie ca. 100% Ersparnis; aus reformiertem Erdgas keine Ersparnis. Bei Elektrolyse mit EU-Strommix ca. 100% mehr CO ₂ -Ausstoß.
	FAZIT
	Wasserstoff kann der Kraftstoff der Zukunft werden. Hierzu sind jedoch noch eine ganze Reihe von technischen Fragen (Herstellung, Infrastruktur zum Vertrieb, sichere Lagerung) zu beantworten und das Kosten-Nutzen-Verhältnis den Fahrzeugen mit Dieselantrieb anzupassen.

werden. In einem Test erreichte ein Prototypfahrzeug eine Reichweite von ca. 400 km bei einem Wasserstoffverbrauch von 1,5 kg/100 km, was etwa 4,8 l Diesel als Energieäquivalent entspricht. Erste Serienmodelle werden voraussichtlich etwa das Dreifache eines vergleichbaren Serienfahrzeuges mit Dieselantrieb kosten, wobei beim Einsatz in Nutzfahrzeugen die Größe sowie das Zusatzgewicht für Tank, Brennstoffzellen und Akkumulatoren zu kompensieren ist.

Ein wirtschaftlicher Einsatz dieser Technologie ist derzeit noch nicht möglich, da die Brennstoffzellenbusse etwa den 3- bis 6-fachen Anschaffungspreis und doppelt so hohe Kraftstoffkosten wie konventionelle Dieselfahrzeuge aufweisen.⁷⁶⁾

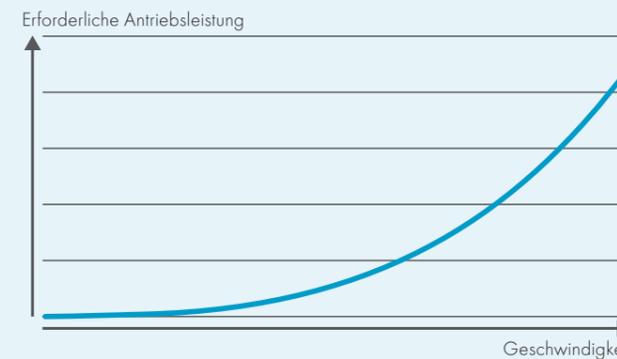
Da Wasserstoff selbst keine Energiequelle, sondern nur Sekundärenergie ist, hängt seine Gesamtklimabilanz entscheidend von der Produktionsweise des Wasserstoffes ab. Mit aus erneuerbaren Energien hergestelltem Wasserstoff wäre es nicht nur möglich, Verkehr ganz ohne CO₂-Emissionen zu realisieren, sondern es würden zudem auch die Luftschadstoff- und Lärmemissionen deutlich reduziert. In puncto Effizienz

4.7 FAHRZEUGTECHNIK

Neben Antrieben und Kraftstoffen besteht weiterhin erhebliches Potenzial, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen durch verbesserte Fahrzeugtechnik zu senken. Hauptansatzpunkt optimierter Fahrzeugtechnik ist die Reduzierung des Fahrwiderstandes. Der Fahrwiderstand lässt sich definieren als Summe aller Reibungsverluste, die der Fortbewegung des Fahrzeuges entgegenwirken. Je höher der Fahrwiderstand, desto höher die erforderliche Antriebsleistung, um ein Kraftfahrzeug auf eine bestimmte Geschwindigkeit zu beschleunigen oder diese zu halten.

Der Fahrwiderstand lässt sich in verschiedene Komponenten zerlegen: Die wichtigsten Komponenten sind der Luftwiderstand, der Rollwiderstand sowie mechanische Verluste durch Lagerreibung. Der zu überwindende Rollwiderstand hängt wiederum vom Fahrzeuggewicht und seiner Zuladung ab. Die wichtigsten Stellschrauben zur Minderung von Luft- und Rollwiderstand werden im Folgenden behandelt. Mechanische Reibungsverluste sind, soweit sie Motor und Antrieb

28 AERODYNAMIK UND FAHRWIDERSTAND



Aus der Grundgleichung des Fahrzeugluftwiderstandes lässt sich ableiten, dass die aerodynamische Auslegung vor allem bei großen Fahrzeugen und hohen Geschwindigkeiten zu beachtlichen Kraftstoffeinsparungen führt. Für die erforderliche Antriebsleistung bedeutet dies, dass diese mit der dritten Potenz zur Geschwindigkeit ansteigt.

Erforderliche Antriebsleistung: $P = F \cdot v$ (1),
wobei P die Antriebsleistung und v die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges sind.
Fahrwiderstand: $F = F_W + F_R + \dots$ (2),
wobei F die gesamte Fahrwiderstandskraft ist, die erforderlich ist, um ein Fahrzeug zu bewegen. Diese Fahrwiderstandskraft setzt sich zusammen aus der Luftwiderstandskraft, der Rollreibungskraft sowie weiteren Teilkraften.
Betrachtet man nur die Luftwiderstandskraft ergibt sich somit die Abhängigkeit der notwendigen Antriebsleistung eines Fahrzeuges von der Geschwindigkeit wie folgt:
Erforderliche Antriebsleistung: $P = c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 / 2$ (3),
wobei c_w der Luftwiderstandsbeiwert, A die Stirnfläche des Fahrzeuges, ρ die Luftdichte (abhängig von Temperatur etwa 1,293 kg/m³) und v die Fahrzeuggeschwindigkeit sind.

anstiegt, das heißt der Luftwiderstand vervierfacht sich bei einer Verdoppelung der Geschwindigkeit. So werden fast 40% des Gesamtenergieaufwandes zum Bewegen eines 40-Tonnen-Lkw auf ebener Strecke bei konstant Tempo 85 km/h dafür benötigt, den Luftwiderstand zu überwinden.⁷⁹⁾

Bisher haben sich vor allem das Anbringen von Luftleitschildern, das Abrunden der Aufbaukanten, die Verringerung des Freiraumes zwischen Fahrerhaus und Aufbau sowie das Anbringen von Seitenverkleidungen als nützliche Mittel bewährt, um den Luftwiderstand zu senken.⁸⁰⁾ Gleichwohl

der 4-Meter-Gesamthöhe zu einem Verlust an Laderaumvolumen. Um diesen Zielkonflikt zu lösen, könnten neue gesetzliche Rahmenbedingungen zu Nutzfahrzeugmaßen einen Beitrag leisten.

Aber auch bei der Einhaltung heutiger Anforderungen können bereits Kraftstoffeinsparungen von bis zu 5% realisiert werden. Dazu bieten einige Zubehörhersteller Aerodynamikpakete für schwere Nutzfahrzeuge an, mit denen sich diese für etwa 4.000 € umrüsten lassen. Mittelfristig könnte mit etwas höheren Investitionen auch eine Kraftstoffersparnis bis 10% erreicht werden. Bei Anpassung der Gesetzeslage zu Lkw-Maßen könnten im Fernverkehr bis 2030 durchaus

76) Vgl. Ricardo, a.a.O., S.134. und Sven Geitmann, Bekenntnis zu Wasserstoff und Brennstoffzelle, in: Hzwei - Das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen, Heft Oktober 2009, 9. Jg., Oktober 2009, S. 20.

77) Vgl. Robert Edwards et al., a.a.O., S. 46.

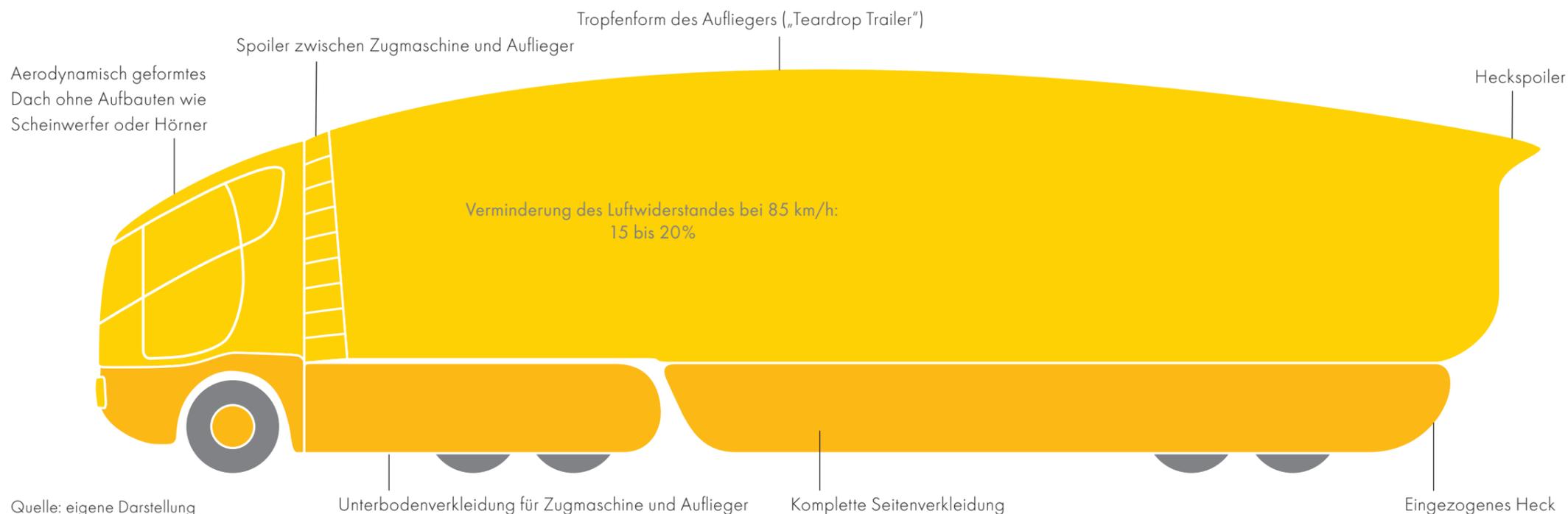
78) Ludwig Bölkow Systemtechnik GmbH. HyWays - The European Hydrogen Roadmap Ottobrunn 2008, S. 4f. sowie www.cleanenergypartnership.de.

79) Vgl. Stephan Kopp, Stephan Schönherr, Holger Koos, Design und Aerodynamik bei Nutzfahrzeugen, Automobiltechnische Zeitschrift, 111. Jg., Heft 07/08, S. 512-517.

80) Vgl. Erich Hoepke et al. Nutzfahrzeugtechnik - Grundlagen, Systeme, Komponenten, Wiesbaden 2006, S. 21f.

81) Vgl. Ricardo, a.a.O., S. 13.

29 TECHNISCHE MÖGLICHKEITEN ZUR VERBESSERUNG DER AERODYNAMIK VON SATTELZÜGEN



Quelle: eigene Darstellung

Kraftstoffeinsparpotenziale von 15% erschlossen werden. Für leichte Nutzfahrzeuge und Lkw, die nur im Stadt- und Regionalverkehr betrieben werden, sind nur geringfügige Kraftstoffspareffekte durch aerodynamische Maßnahmen zu erwarten.

Leichtlaufreifen

Ein weiterer wichtiger Faktor für den Kraftstoff- und Energieverbrauch von Nutzfahrzeugen ist der Rollwiderstand. Der Rollwiderstand ergibt sich aus der Verformung der Reifen bei Fahrbahnkontakt; er ist unter anderem abhängig vom Reifendurchmesser und Materialeigenschaften von Reifen und Fahrbahnbelag.

Der Rollwiderstand ist für etwa ein Drittel des Energieverbrauches von schweren Nutzfahrzeugen verantwortlich. Einfachste Maßnahme, den Rollwiderstand zu mindern ist, stets den Luftdruck der Reifen zu optimieren. So kann heute mit automatischer Reifendruckkontrolle vermieden werden, dass Lkw mit zu niedrigem Luftdruck unterwegs sind. Die Systeme kosten etwa 900 € und bringen bei konsequenter Anwendung eine Kraftstoffersparnis von bis zu 3%.

Des Weiteren kann der Rollwiderstand durch spezielle Gummimischungen und Profile von Leichtlaufreifen minimiert werden, was direkt dem Kraftstoffverbrauch zu Gute kommt. Leichtlaufreifen sind eine kostengünstige Variante, um den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren. Pro Lkw und Jahr entstehen nur 500 € zusätzliche Kosten, welche sich durch eine Kraftstoffeinsparung von 3 bis 5% rasch amortisieren. Diese Technologie wird bereits von vielen Reifenherstellern angeboten und ist daher bereits heute uneingeschränkt einsetzbar.⁸²⁾

Leichtbau

Roll- und damit auch Fahrwiderstand sind aber auch abhängig vom Fahrzeuggewicht. Deshalb kommt auch der Reduzierung des Fahrzeuggewichtes beim Nutzfahrzeug entsprechende Bedeutung zu. Das Fahrzeuggewicht kann insbesondere durch Leichtbaumaßnahmen reduziert werden. Zum einen kann durch ein geringeres Gewicht Kraftstoff gespart werden, zum anderen ermöglicht ein geringeres Eigengewicht der Nutzfahrzeuge gleichzeitig eine Erhöhung der Nutzlast. Längerfristig bietet der verstärkte Einsatz von Aluminium und Verbundwerkstoffen im Nutzfahrzeug- und Anhängerbau noch einige Gewichtseinsparpotenziale. Mittelfristig sind Einsparpotenziale beim Kraftstoffverbrauch von bis zu 5% zu erzielen.⁸³⁾

4.8 FAHRERTRAINING UND VERKEHRSMANAGEMENT

Schließlich kann auch die Schulung der Fahrer auf eine kraftstoffsparende Fahrweise Erfolge bei der Kraftstoffeinsparung bringen. Zudem sind Verbesserungen beim Verkehrsmanagement möglich, was zum Beispiel durch die Reduktion von Leerfahrten und eine optimale Routenplanung erreicht werden kann.

Fahrertraining

Fahrertrainings werden heute bereits von vielen Stellen angeboten. Zeitaufwand und Lehrgangskosten können von den Fahrern anschließend mit durchschnittlich 5% weniger Kraftstoff kompensiert werden. Die Schulungen lassen sich im Übrigen gut mit den Anforderungen aus dem Berufskraftfahrer-

Qualifikationsgesetz verbinden. Es ist jedoch auch eine regelmäßige Auffrischung des Themas erforderlich, sodass regelmäßige Nachschulungen stattfinden sollten, da sonst die erlernten Verhaltensweisen sich nicht dauerhaft durchsetzen.

Verkehrsmanagement

Weitere Möglichkeiten zum Kraftstoffsparen bieten beispielsweise noch Platooning, Predictive Cruise Control, automatische Reifendruckkontrolle, Telematiksysteme.⁸⁴⁾

Beim sogenannten Platooning werden schwere Nutzfahrzeuge auf Fernstraßen durch elektronische Systeme zu engen Kolonnen angeordnet, wodurch sich der Windwiderstand erheblich verbessert. Allerdings sprechen juristische Gründe – wer haftet bei einem Unfall innerhalb einer Kolonne? – als auch Sicherheitsbedenken bezogen auf andere Verkehrsteilnehmer derzeit gegen eine Anwendung dieses Systems.

Predictive Cruise Control bezeichnet ein System, welches die Fahrleistung der Nutzfahrzeuge an die vorherrschende Topografie anpasst und somit zu einer effizienten Nutzung des Motors beiträgt.

Des Weiteren können verstärkt Telematiksysteme zur Disposition der Fahrten angewendet werden. Bei effektiver Vernetzung aller Fahrzeuge von großen Fuhrparks können so die Auslastungen erhöht und Leerfahrten vermieden werden. Bei einer konsequenten Anwendung unter Einsatz aller verfügbaren Komponenten (Flottenmanagement, Fahrermanagement, Navigation) konnten bei Sattelzugmaschinen ca. 10% Kraftstoffeinsparungen erreicht werden.

Zum Verkehrsmanagement von Nutzfahrzeugen existieren erste Planungswerkzeuge zur Routenplanung, die dem Disponenten oder dem Fahrer für verschiedene Routen neben den zu fahrenden Kilometern und gegebenenfalls der zu planenden Fahrzeit dabei helfen können, den Kraftstoffverbrauch und entstehende Emissionen zu optimieren. Zukünftig können diese Planungswerkzeuge auch mit aktuellen Verkehrsdaten verknüpft werden, um so eine verbrauchsoptimierte Routenplanung zu realisieren.

4.9 ANTRIEB UND KRAFTSTOFF DER ZUKUNFT

Wie Antrieb und Kraftstoff der Zukunft im Straßengüterverkehr aussehen werden, ist zurzeit noch unentschieden. Bei einer reinen Kosten-Nutzen-Betrachtung hat sich noch kein alternatives Antriebskonzept oder Kraftstoff als so vorteilhaft dargestellt, dass andere Optionen nicht mehr in Frage kämen. Zu groß sind die Unsicherheiten, als dass heute schon eine langfristige Vorhersage getroffen werden könnte. Welcher Antrieb und Kraftstoff den Güterkraftverkehr nach 2030 antreibt, hängt vielmehr ab von relativen Preisentwicklungen, Material- und Rohstoffverfügbarkeiten und vor allem technologischem Fortschritt bzw. weiteren Innovationen.

Aus Sicht der Nutzer muss – mehr noch als im Pkw-Bereich – ein Nutzfahrzeug der Zukunft den heutigen Nutzungseigenschaften existierender Fahrzeuge sehr nahe kommen; denn der zumeist unternehmerisch tätige Nutzer entscheidet mehr noch als private Pkw-Nutzer nach Kosten und Wirtschaftlichkeit.

Die Politik steht zudem vor einer mehrdimensionalen Optimierungsaufgabe. Neue Antriebe und Kraftstoffe sollen umwelt- und klimafreundlich sein; gleichzeitig sollen sie aber auch sicher und bezahlbar bleiben. Auf der anderen Seite ist die etablierte Dieselschifftechnologie technisch noch keineswegs ausgereizt und stellt für jede Alternativoption auf absehbare Zeit eine echte Herausforderung dar.

Aus Sicht von Fahrzeugherstellern und Kraftstoffentwicklern ergibt sich hieraus verstärkter Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Dabei bedürfen alternative Antriebs- und Kraftstofftechnologien, die in erster Linie Umwelt- und Klimaziele adressieren, zumindest in einer Übergangs- bzw. Einführungsphase politischer Unterstützung. Da sowohl Fahrzeug- als auch Kraftstoffindustrie international aufgestellt sind, versprechen außerdem nationale Alleingänge wenig Erfolg.

Mittelfristig werden sich Antriebs- und Kraftstoffkonzepte im Straßengüterverkehr in den kommenden Jahren aufklären, wenn auch langsamer als im motorisierten Individualverkehr. Gleichwohl wird der beherrschende Antriebs-Kraftstoff-Mix für den Güterkraftverkehr 2030 voraussichtlich ein weiter verbesserter Dieselantrieb plus nachhaltige Biokraftstoffe plus optimierte Fahrzeugtechnologie sein.

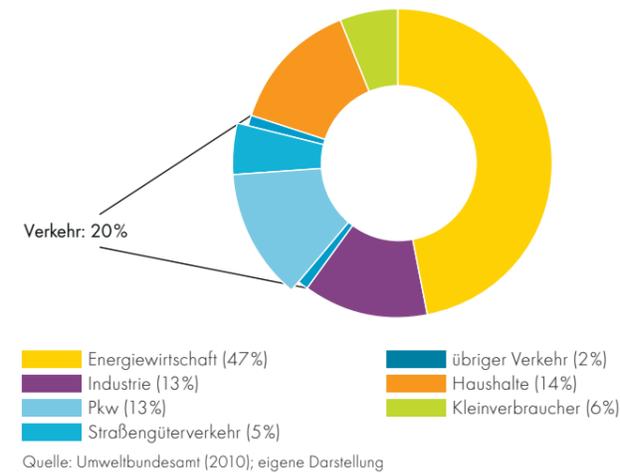
83) Vgl. Wiebke Zimmer, Uwe Fritsche, Klimaschutz und Straßenverkehr. Effizienzsteigerung und Biokraftstoffe und deren Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen, Friedrich-Ebert-Stiftung (Hrsg.), Bonn, S. 21.

82) Sibylle Orgeldinger, Neue Techniken für Lkw-Reifen, Jg. 109, Heft 11/2007, S. 1040 ff.

84) Vgl. Ricardo, a.a.O., S. 52ff.

KRAFTSTOFFVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

30 CO₂-EMISSIONEN IN DEUTSCHLAND IM JAHR 2008



Im Jahre 2008 trugen die CO₂-Emissionen des Verkehrs in Deutschland etwa zu 20% zu den gesamten CO₂-Emissionen bei. Für den Straßengüterverkehr insgesamt waren es gut 5%, wobei dieser Anteil wächst. Eine Ursache dafür sind die Erfolge der anderen Makrosektoren, ihre CO₂-Emissionen zu reduzieren. Gleichzeitig hält das Verkehrswachstum weiter an – zumindest bis zum Jahr 2008.

Der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs sind damit deutlich geringer als diejenigen des motorisierten Individualverkehrs, dessen direkte CO₂-Emissionen heute bei etwa 110 Mio. Tonnen liegen (Abbildung 30). Die starke Ausrichtung auf den Dieselantrieb angesichts eines Mangels an technologischen Alternativen sowie das weitere Ansteigen von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen rücken den Straßengüterverkehr aber dennoch immer stärker ins Visier von Verkehrs-, Energie- und Klimapolitik. Ziele der Politik sind: Die Energieversorgung auch des Güterverkehrs soll auf eine breitere Basis gestellt werden. Gleichzeitig ist es notwendig, die CO₂-Emissionen der Nutzfahrzeuge künftig deutlich zu reduzieren. Doch welchen Beitrag kann der Straßengüterverkehr in den nächsten 20 Jahren tatsächlich zu Energie-sicherheit und Klimaschutz leisten?

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 beschriebenen Antriebs-, Fahrzeug- und Kraftstofftechnologien werden im Folgenden anhand zweier technologischer Szenarien künftiger Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs abgeschätzt. Zunächst erfolgt eine kurze Darstellung der wichtigsten Inputgrößen einer solchen Verbrauchs- und Emissionsberechnung – namentlich der spezifischen Kraftstoffverbräuche, der Fahrleistungen von

In Deutschland wurden im Jahr 2008 rund 22 Mio. Tonnen Ottokraftstoff und ca. 30 Mio. Tonnen Diesellokraftstoff abgesetzt; davon sind etwa 15 Mio. Tonnen Diesel oder knapp die Hälfte dem Straßengüterverkehr zuzurechnen. Der Straßengüterverkehr stützt sich dabei fast vollständig auf den Sekundärenergieträger Diesellokraftstoff beziehungsweise mit dem Dieselantrieb verträgliche Substitute wie Biokraftstoffe. Aus dem Kraftstoffverbrauch des Straßengüterverkehrs ergeben sich damit direkte CO₂-Emissionen in Höhe von etwa 47 Mio. Tonnen pro Jahr.

Nutzfahrzeugen und der spezifischen CO₂-Emissionen. Anschließend werden die beiden Szenarien, ein Trendszenario sowie ein Alternativszenario vorgestellt. Deren wichtigste Ergebnisgrößen – gesamter Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen im Jahre 2030 – werden zunächst allein für den Straßengüterverkehr sowie abschließend für den motorisierten Straßenverkehr in Deutschland insgesamt zusammengefasst und im Kontext aktueller verkehrs-, energie- und klimapolitischer Diskussionen bewertet.

5.1 SZENARIO-GRUNDLAGEN

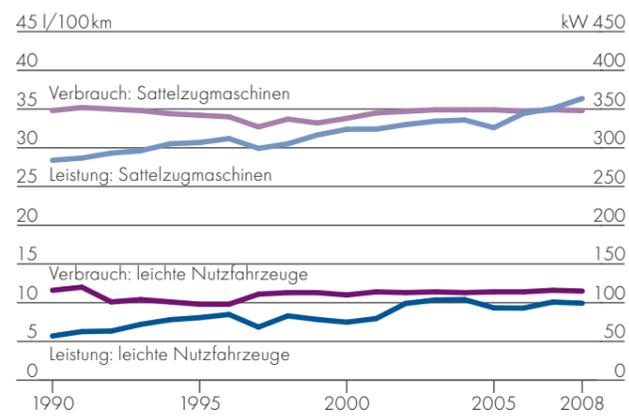
Ausgangspunkt bei der Abschätzung in beiden Szenarien sind der vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) berechnete durchschnittliche Kraftstoffverbrauch für in Deutschland zugelassene Diesel-Lkw und Sattelzugmaschinen sowie Testergebnisse der Fachzeitschrift *lastauto omnibus* für die Fahrzeugklasse der leichten Nutzfahrzeuge.⁸⁵⁾ Da mit Ottokraftstoff angetriebene Nutzfahrzeuge in den für die Gesamtverkehrsleistung wichtigen Fahrzeugklassen nur eine untergeordnete Rolle spielen, wird nur der Verbrauch von Diesellokraftstoff in der Berechnung zugrunde gelegt.

Einen Eindruck von der Entwicklung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs von Nutzfahrzeugen vermittelt Abbildung 31. Dort sind seit 1990 neu zugelassene Nutzfahrzeuge in Deutschland nach spezifischem Verbrauch und Leistung aufgetragen. Die Darstellung stützt sich dabei auf Testergebnisse, die in der Zeitschrift *lastauto omnibus* regelmäßig veröffentlicht werden. Diese Tests werden mit am Markt angebotenen neuen Fahrzeugen unterschiedlicher Hersteller bei langjährig stabilen Testbedingungen durchgeführt. Sie stellen zwar keine Feststellung eines Normverbrauchs dar, da es diesen für Nutzfahrzeuge bisher nicht gibt. Die Testergebnisse geben aber langfristige Entwicklungstrends bei den realen Kraftstoffverbräuchen zutreffend wieder.

Die dargestellte Auswertung konzentriert sich dabei auf die Fahrzeugklassen leichte Nutzfahrzeuge und Sattelzugmaschinen, da diese Segmente im Vergleich zu Lkw relativ homogen sind und gemeinsam etwa 85% der Fahrleistung im Straßengüterverkehr erbringen. Dabei ist zu beachten, dass die Auswertung nur bedingt Informationen über die Entwicklung des durchschnittlichen Kraftstoffbedarfs des im Güterverkehr eingesetzten Fahrzeugbestandes liefern kann. Grund dafür ist, dass die Testmodelle zufällig ausgewählt wurden, sodass eine Hochrechnung der Werte auf den gesamten Fahrzeugbestand bzw. den Fahrleistungsanteil der jeweiligen Fahrzeugklasse nur ungefähr erfolgen kann.

85) Vgl. Dominika Kalinowska, Uwe Kunert, a.a.O. sowie *lastauto omnibus* Kataloge (1990-2010), EuroTransportMedia Stuttgart, 1989-2009.

31 KRAFTSTOFFVERBRAUCH UND LEISTUNG VON LEICHTEN NUTZFAHRZEUGEN UND SZM



Quelle: lastauto omnibus 1990-2010, eigene Darstellung

Bei den Sattelzugmaschinen zeigen sich bis Mitte der 1990er Jahre spezifische Verbrauchssenkungen. Damit setzt sich ein Trend fort, der sich in den Jahren vor 1990 noch viel deutlicher zeigte. Ab Mitte der 1990er Jahre fing der spezifische Kraftstoffverbrauch jedoch an zu steigen; von einem Minimum von 33 l/100 km im Jahre 1997 stieg er bis heute um mehr als einen Liter. Als Ursache wird ein Zusammenhang mit den ab 1996 eingeführten Euronormen II, III und IV für schwere Lkw und Sattelzugmaschinen vermutet. Immer aufwändigere Abgasreinigungstechnik führte letztendlich zu Veränderungen beim Verbrennungsprozess, der zudem einen erhöhten Energieeinsatz zum Betrieb bzw. zur Abgasreinigung erforderte. Einher ging die technische Weiterentwicklung mit einem höheren Fahrzeugeigengewicht.

Gleichzeitig mit zuletzt stagnierenden bzw. wieder leicht ansteigenden spezifischen Kraftstoffverbräuchen von neuen Sattelzugmaschinen ist ein deutlicher Trend zu steigenden Motorleistungen zu erkennen. Auch wenn die Motorleistung bei Sattelzügen infolge unterschiedlicher Einsatzgebiete variiert, stieg die durchschnittliche Leistung der untersuchten Fahrzeuge auf 350 kW an. Mehr Leistung und Zugkraft erlauben der verladenden Wirtschaft höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten und außerdem mehr Flexibilität beim Fahrzeugeinsatz.

Bei den leichten Nutzfahrzeugen kann ebenfalls eine Entwicklung hin zu stagnierenden bzw. leicht ansteigenden spezifischen Verbrauchswerten erkannt werden. Dabei sind leichte Nutzfahrzeuge mit Motoren ausgerüstet, die aus der Motorenentwicklung für Pkw übernommen oder abgeleitet wurden. Durch Turboladung und Direkteinspritzung unter hohem Druck konnten in der Vergangenheit Leistungsverbesserungen bei den Motoren realisiert werden. Ähnlich wie bei Sattelzügen spielt auch bei leichten Nutzfahrzeugen für die langfristige Verbrauchsentwicklung die Einhaltung der Euronormen eine Rolle, wobei dieser Zusammenhang anhand der Daten nicht so deutlich wird. Und auch bei leichten Nutzfahrzeugen zeigt sich der technische Fortschritt in einem deutlichen Leistungszuwachs, der wiederum einen flexibleren Flotteneinsatz ermöglicht.

Für alle weiteren Berechnungen wurde angenommen, dass bei den in Deutschland fahrenden ausländischen Nutzfahrzeugen die gleichen durchschnittlichen Verbrauchswerte angesetzt werden können. Ebenfalls gilt für beide Szenarien, dass die kraftstoffsparenden Antriebstechnologien ab dem Jahr 2020 in allen Neufahrzeugen verpflichtend sind und sich somit im Jahr 2030 im deutschen Fahrzeugbestand sowie bei allen in Deutschland fahrenden ausländischen Lkw und Sattelzugmaschinen weitgehend durchgesetzt haben, bei Lkw zu etwa 70%, bei leichten Nutzfahrzeugen zu etwa 72% sowie bei SZM zu etwa 91% der Bestandsfahrzeuge im Jahr 2030.⁸⁶⁾

Als Basis für die Berechnung von Fahrleistungen, Verbräuchen und Emissionen wurde die in Kapitel 1 vorgestellte, bis zum Jahr 2030 fortgeschriebene Verkehrsprognose 2025 für den Straßengüterverkehr verwendet.⁸⁷⁾ Danach wird die Gesamtverkehrsleistung der drei Hauptverkehrsträger von heute zusammen 652,5 Mrd. Tonnenkilometer bis 2030 auf etwa 1.073 Mrd. Tonnenkilometer bzw. um 64 % ansteigen. Die Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs steigt im selben Zeitraum um etwa 73 % auf 817 Mrd. Tonnenkilometer. Dabei sind die der Verkehrsprognose 2025 zu Grunde liegenden Annahmen sowie zusätzliche eigene Annahmen zu den Fahrzeugbeständen und zur durchschnittlichen Fahrzeugauslastung in die Modellrechnung zur Bestimmung der Fahrleistungen im Straßengüterverkehr eingeflossen.

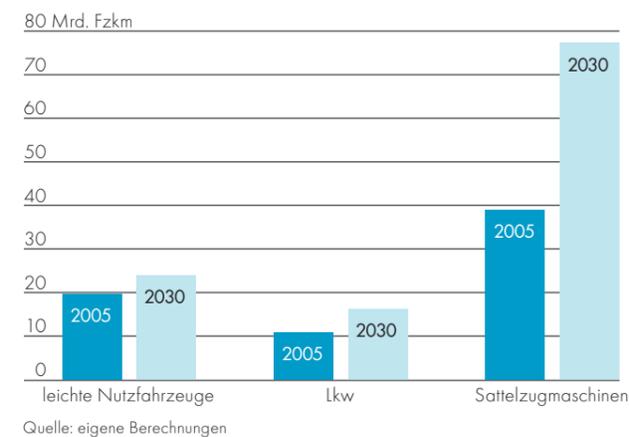
Bei den Fahrzeugbeständen wurde der jeweilige Anteil der Fahrzeugklasse am gesamten Nutzfahrzeugbestand bis zum Jahr 2030 mit einer Trendkurve berechnet. Da Verkehrsleistungen in Deutschland zu einem erheblichen Teil von im Ausland zugelassenen Nutzfahrzeugen und hier insbesondere von Sattelzugmaschinen erbracht werden, wurden Verkehrsleistung und Bestand an deutschen Nutzfahrzeugen als weitgehend unabhängige Größen angenommen. Das Modellierungsergebnis bestand in der prognostizierten Fahrleistung aller in Deutschland fahrenden inländischen und ausländischen Nutzfahrzeuge, wobei eine Zuordnung der Fahrleistung zu diesen beiden Kategorien nicht möglich ist. Die Modellrechnung bezieht sich auf ein Inlandskonzept, das heißt alle Fahrleistungen von in Deutschland fahrenden Nutzfahrzeugen einschließlich des Transitverkehrs und aller Leerfahrten. Im Modellergebnis nicht enthalten sind die Fahrleistungen deutscher Nutzfahrzeuge im Ausland.

Die berechneten Fahrleistungen stellen neben dem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch in den Fahrzeugklassen für Nutzfahrzeuge die zweite Ausgangsgröße für die Abschätzung des gesamten Kraftstoffverbrauchs und der vom Straßengüterverkehr in Deutschland verursachten CO₂-Emissionen dar. Sie sind für beide im Folgenden behandelten Szenarien gleich. Damit unterscheiden sich die erbrachten Fahrleistungen ausschließlich qualitativ, das heißt nur nach eingesetzter Antriebs-, Fahrzeug- oder Kraftstoffoption.

⁸⁶⁾ Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt, Statistische Mitteilungen, Reihe 2: Fahrzeugbestand, Flensburg diverse Jahrgänge 1990-2006. Kraftfahrt-Bundesamt, Fahrzeugzulassungen, Bestand am 1. Januar 2009, Sammelband, FZ 6, Flensburg Jahrgänge (2007-2009).

⁸⁷⁾ Die Abschätzung basiert auf der Modellierung des Straßengüterverkehrs in Deutschland mit der Verkehrsmodellierungssoftware VISEVA-W und VISUM.

32 FAHRLEISTUNGEN NACH FAHRZEUGKLASSEN



Quelle: eigene Berechnungen

Die Gesamtfahrleistung aller Nutzfahrzeuge im Straßengüterverkehr steigt von 69,5 Mrd. Fahrzeugkilometern im Jahre 2005 auf 117,4 Mrd. Fahrzeugkilometer im Jahr 2030. Dabei fällt der Anstieg der Fahrleistung für die einzelnen Fahrzeugklassen recht unterschiedlich aus. So ist der Anstieg bei den leichten Nutzfahrzeugen und bei den Lkw ab 3,5 Tonnen bis 12 Tonnen noch moderat; Sattelzugmaschinen erfahren mit einer Steigerung um fast 100% gegenüber dem Jahr 2005 eine sehr starke Steigerung.

Vor dem Hintergrund der Finanz- und Wirtschaftskrise kann die prognostizierte Entwicklung der Fahrleistungen zwar kritisch hinterfragt werden. In den letzten Jahren vor der Krise 2008/09 hatte sich der Straßengüterverkehr bereits sehr dynamisch entwickelt. Zudem ist damit zu rechnen, dass – wie bereits in der Vergangenheit auch – nach der Krise wiederum ein starker Anstieg von Verkehrs- und Fahrleistungen bei entsprechendem Wirtschaftswachstum erfolgt. Deshalb wird im Weiteren auf die fortgeschriebene Verkehrsprognose 2025 aufgebaut.

Die letzte Inputgröße zur Ermittlung der gesamten CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs sind die spezifischen CO₂-Emissionen. Für leichte Nutzfahrzeuge liegen – analog zum Neuen Europäischen Fahrzyklus für Pkw – Normwerte vor. Im Rahmen der EU-Gesamtstrategie zur Minderung der CO₂-Emissionen von leichten Nutzfahrzeugen und Pkw befindet sich ferner eine EU-Regulierung für fahrzeugspezifische CO₂-Grenzwerte in Vorbereitung. Für schwere Nutzfahrzeuge gibt es dagegen noch keine, dem Pkw vergleichbare Messmethodik.

Da die realen CO₂-Emissionen aufgrund unterschiedlicher Fahrbedingungen in der Regel ohnehin von spezifischen Normwerten abweichen, können erstere nur über reale Kraftstoffverbräuche ermittelt werden. Dazu werden die tatsächlich verbrauchten Kraftstoffvolumina mit ihren spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren multipliziert.⁸⁸⁾ Im Fall von Dieselmotoren bedeutet dies, pro Liter Kraftstoff entstehen 2,65 kg CO₂. Für Nutzfahrzeuge mit Gasantrieb wurde für

⁸⁸⁾ Vgl. Handbook Emission Factors for Road Transport www.hbefa.net.

alle Fahrzeuge ein pauschaler Einheitswert für Erdgas mit 20% Biogasanteil angenommen, sodass im Vergleich zum Dieselantrieb ein CO₂-Abschlag in Höhe von 36% im Jahr 2030 pro Fahrzeugkilometer in die Abschätzung eingegangen ist. Hierbei handelt es sich um eine Annahme, deren Erreichen gegenüber heutigen Erfahrungen noch erhebliche Anstrengungen erfordert.

Alternative Antriebe und Kraftstoffe definieren ihre Klimabilanz im Gegensatz zu konventionellem Kraftstoff in erster Linie über ihre Vorkettenemissionen. Biogene Kraftstoffe – der wichtigste alternative Energieträger im Güterkraftverkehr – werden daher entsprechend ihres Minderungspotenzials gegenüber mineralischen Kraftstoffen berücksichtigt; dieses fließt in Form von CO₂-Abschlägen gegenüber den Diesel-Emissionen in die Berechnungen der Klimabilanzen ein. Elektrische Antriebe verursachen beim Fahren praktisch keine direkten CO₂-Emissionen. Für einen Vergleich mit herkömmlichen Kraftstoffen werden die spezifischen CO₂-Emissionen daher proportional zum jeweiligen CO₂-Ausstoß bei der Erzeugung angesetzt. Da derzeit davon auszugehen ist, dass der Anteil von elektrischem Güterkraftverkehr im Betrachtungszeitraum sehr klein bleibt, hat diese Annahme jedoch so gut wie keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis.

5.2 TECHNOLOGIESZENARIOEN FÜR DIE ZUKUNFT

Die Abschätzung des gesamten Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen für das Jahr 2030 erfolgte im Rahmen von zwei Szenarien. In einem Trendszenario wird davon ausgegangen, dass das Tempo des technischen Fortschritts der jüngeren Vergangenheit im Wesentlichen beibehalten wird. Dagegen unterstellt das Alternativszenario, dass Innovation und die Markteinführung neuer Antriebs-, Fahrzeug- und Kraftstofftechnologien deutlich schneller voranschreiten. Hierzu reichen Innovation und technischer Fortschritt allein allerdings nicht aus. Vielmehr bedarf es zusätzlich wirtschaftlich-politischer Rahmenbedingungen, um alternative Fahrzeugtechnologien bei einer beschleunigten Markteinführung und -durchdringung zu unterstützen.

Im Vergleich zum Alternativszenario ist das Trendszenario zwar weniger anspruchsvoll. Dennoch erfordert auch das Trendszenario bereits umfangreiche FuE-Anstrengungen und macht erhebliche Investitionen in neue Fahrzeugtechnologien erforderlich. Um besser zu verdeutlichen, welche Effizienzpotenziale allein im Trendszenario erschlossen werden sollen, wurden zusätzlich Referenzwerte mit konstanter Technologie berechnet. Hier werden die Fahrleistungen im Jahr 2030 und der durchschnittliche spezifische Kraftstoffverbrauch im Jahr 2005 kombiniert, was bedeutet, dass bei dieser Annahme keinerlei weitere technische Effizienzverbesserung stattfinden würde. Analog zu den beiden oben genannten Szenarien werden sowohl Kraftstoffverbrauch als auch zugehörige CO₂-Emissionen abgeschätzt. Zu betonen ist aber nochmals: Das Ergebnis dient ausschließlich zu Vergleichszwecken, stellt also kein weiteres realistisches Szenario dar.

TRENDSZENARIO

Im Trendszenario setzen sich bisherige Technologietrends kontinuierlich weiter fort. So werden bei den Komponenten Motor und Getriebe je nach Fahrzeugtyp noch insgesamt 8 bis 10% Kraftstoffeinsparungen realisiert werden. Zusätzlich zu klassischen Fahrzeugtechnologien schreitet die Elektrifizierung und Hybridisierung auch im Nutzfahrzeugbereich voran. Dabei erfolgt die Hybridisierung bezogen auf die Fahrzeugklasse und auf die Einsatzgebiete (Stadtverkehr, Überland- und Fernfahrten) in unterschiedlicher Weise. Bei leichten Nutzfahrzeugen und Lkw kann der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch um jeweils ca. 10% reduziert werden. Beim Straßengüterfernverkehr mit Sattelzugmaschinen sind die Einsparpotenziale aufgrund des Fahrprofils deutlich geringer; daher werden hier nur minus 2% beim spezifischen Verbrauch angenommen.

Mit Hilfe verbesserter Aerodynamik und Leichtbau lassen sich zusätzlich bei Lkw 2% erzielen. Anders als bei der Hybridtechnologie können Sattelzugmaschinen aufgrund ihres Langstreckeneinsatzes hiervon mit etwa 5% Kraftstoffeinsparung deutlich stärker profitieren. Durch Training der Fahrer und mit Hilfe unterstützender Assistenzsysteme wird kraftstoffsparender gefahren. Hierdurch lassen sich durchschnittliche Kraftstoffeinsparungen in der Größenordnung

von 5% bei leichten Nutzfahrzeugen und Lkw sowie von 3% bei SZM erreichen.

Da sich die hier genannten Einsparungen jeweils auf heutige durchschnittliche Verbrauchswerte beziehen, muss bei der Berechnung einer Gesamteinsparung berücksichtigt werden, dass diese Einspareffekte aufgrund von sich überschneidenden Sparpotenzialen nicht addiert werden können. Deshalb ergibt sich bei den getroffenen Annahmen im Trendszenario eine Einsparung von 23% bei leichten Nutzfahrzeugen und Lkw und von 19% bei SZM gegenüber dem heutigen durchschnittlichen Verbrauch (Tabelle 33).⁸⁹⁾

Durch die aufgezeigten technischen Entwicklungen kann die Effizienz von Nutzfahrzeugen erhöht und der spezifische Kraftstoffverbrauch von Nutzfahrzeugen gesenkt werden. Darüber hinaus lässt sich durch den Einsatz von alternativen Kraftstoffen und Antrieben der Energiemix des Straßengüterverkehrs verbreitern und CO₂-Emissionen noch weiter reduzieren.

89) Vgl. auch Dominika Kalinowska, Uwe Kunert, a.a.O. sowie lastauto omnibus Kataloge (1990-2010), EuroTransportMedia Stuttgart, 1989-2009.

Das wichtigste heutige Dieselsubstitut, Biokraftstoffe, entwickelt sich im Trendszenario vom Anteil am Gesamtkraftstoff allerdings nur moderat weiter. Die technische Verträglichkeit der verfügbaren Biokraftstoffe erster Generation mit Motorentechnologie bleibt eine Herausforderung. Und Biokraftstoffe, die in höheren Anteilen technisch verträglich wären bzw. ohne Fahrzeugumrüstungen kostengünstig eingesetzt werden könnten, werden nur sehr begrenzt zur Verfügung stehen. Erwartet wird auch, dass der Bio-Reinkraftstoffmarkt ebenfalls nicht über seine heutige Größe hinauskommt. Zudem können nicht alle Biokomponenten die immer strengeren Nachhaltigkeitskriterien erfüllen. So erreichen Biokraftstoffe eine Treibhausgasreduktion von etwa 45% gegenüber konventionellem Diesel. Dennoch legen Biokraftstoffe im Trendszenario zu, ihr Anteil steigt auf maximal 12%.⁹⁰⁾

Neben Biokraftstoffen erzielen Erdgasfahrzeuge weitere Marktanteile. Der Anteil der Fahrleistung von CNG-Lkw steigt bis zum Jahr 2030 jedoch auf nur 0,5%. Bei Sattelzugmaschinen spielt dieser Kraftstoff keine Rolle, da - bedingt durch das notwendige große Volumen der Tanks

90) Vgl. Uwe Lahl, Ölwechsel. Biokraftstoffe und nachhaltige Mobilität, Berlin 2009, S. 118.

und der gegenüber Dieselmotoren geringeren Energiedichte - im täglichen Einsatz sowohl durch das reduzierte Ladevolumen und den häufigeren Betankungsbedarf zu große Nachteile entstehen. Durch eine 20%ige Beimischung von Biogas werden die CO₂-Emissionen von CNG-Fahrzeugen nochmals um etwa 20% gesenkt.⁹¹⁾ Autogas bzw. LPG spielt szenariounabhängig im Straßengüterverkehr vorläufig keine nennenswerte Rolle.

Parallel zur Entwicklung beim Pkw hält Elektromobilität Einzug in den Straßengüterverkehr - allerdings nur bei leichten Nutzfahrzeugen und Lkw. Auch hier bleibt die Fahrleistung, die mit leichten E-Nutzfahrzeugen und -Lkw erbracht werden, mit 0,5% der Fahrleistung im Güterverkehr gering. Bei Sattelzugmaschinen spielt diese Technik keine Rolle, da nicht zu erwarten ist, dass die notwendigen Leistungsparameter bei der Energiespeicherung erreicht werden können. Für die Berechnung der CO₂-Emissionen aus Fahrstrom wurden spezifische CO₂-Emissionen in Höhe von 513 gCO₂/kWh unterstellt.⁹²⁾

91) Vgl. Deutsche Energieagentur, a.a.O., S. 10.

92) Die CO₂-Faktoren des Strommixes im Trendszenario wurden aus EWI/Prognos, Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030, Berlin 2005 und EWI/Prognos, Energieszenarien für den Energiegipfel 2007, Basel/Köln 2007 abgeleitet.

ALTERNATIVSZENARIO

Im Alternativszenario wurden die im Trendszenario getroffenen Annahmen nochmals ambitionierter gestaltet, um so den Kraftstoffverbrauch weiter zu verringern und zu diversifizieren und um eine zusätzliche Verringerung von CO₂-Emissionen zu erreichen (vgl. Tabelle 33).

Die Gesamtreaktion durch Effizienzverbesserungen wurde im Alternativszenario noch einmal um 13 für leichte Nutzfahrzeuge und Lkw bzw. um 9 Prozentpunkte für Sattelzugmaschinen erhöht. Die größten Einsparpotenziale gegenüber dem Trendszenario liegen bei den leichten Nutzfahrzeugen und Lkw im Bereich Hybridisierung. Bei den schweren Nutzfahrzeugen sind es vor allem Aerodynamik und Fahrweise. Die Hebung dieser zusätzlichen Effizienzpotenziale erscheint jedoch nur möglich, wenn das Tempo des technischen Fortschritts erhöht wird. Zudem müssen die Rahmenbedingungen zur Umsetzung neuer Spartechnologien vorhanden sein, zum Beispiel für den Einsatz aerodynamisch optimierter Sattelzüge. Zur Realisierung der hier aufgezeigten Einsparpotenziale muss schließlich die Qualität der Nutzfahrzeugflotte vor allem in puncto Effizienz verbessert werden. Dazu muss der Flottenumschlag noch weiter erhöht werden, was nur über die beschleunigte Außerbetriebnahme älterer Nutzfahrzeuge und höhere Neuzulassungen insbesondere von modernen, sparsamen Lkw und leichten Nutzfahrzeugen möglich ist.

Bei den alternativen Kraftstoffen nimmt vor allem der Einsatz von Biokraftstoffen deutlich zu. Von heute (2009) etwa 8% Biokomponenten im Straßengüterverkehr steigt der Biokraftstoffanteil auf immerhin 20% 2030. Dies wird ermöglicht sowohl durch Kraftstoff- als auch durch Fahrzeugtechnologie. Neue Kraftstoffkomponenten und neue Biokraftstoffe sind gegen Ende der 2020er Jahre verfügbar und erlauben höhere Biobeimischungen. Zudem wird die technische Verträglichkeit auch von Biokraftstoffen erster Generation durch fahrzeugtechnologische Entwicklungen verbessert. Biokraftstoffe zweiter Generation sind nachhaltiger als solche erster Generation. Aber konventionelle Biokraftstoffe können ebenfalls nachhaltiger hergestellt werden. So erreichen Biokraftstoffe im Alternativszenario CO₂-Einsparungen gegenüber fossilem Dieselmotorkraftstoff von etwa 55%. Darüber hinaus breiten sich CNG- und E-Fahrzeuge unter den Bedingungen des Alternativszenarios stärker aus. Der spezifische CO₂-Gehalt des Strommixes reduziert sich entsprechend dem Leitszenario des Bundesumweltministeriums gegenüber dem Trendszenario um etwa 40% CO₂ pro kWh.⁹³⁾

93) Die CO₂-Faktoren des Strommixes im Alternativszenario basieren auf dem Leitszenario 2008 in Joachim Nitsch, Leitstudie 2008: Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbarer Energien vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Berlin 2008.

33 GEGENÜBERSTELLUNG DER ANNAHMEN ZUR EFFIZIENZVERBESSERUNG

Komponente	Leichte Nutzfahrzeuge und Lkw		Sattelzugmaschinen	
	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 gCO ₂ /kWh	512,9	301	512,9	301

Quelle: eigene Darstellung

5.3 GESAMTKRAFTSTOFFVERBRAUCH DES STRASSEN GÜTERVERKEHRS

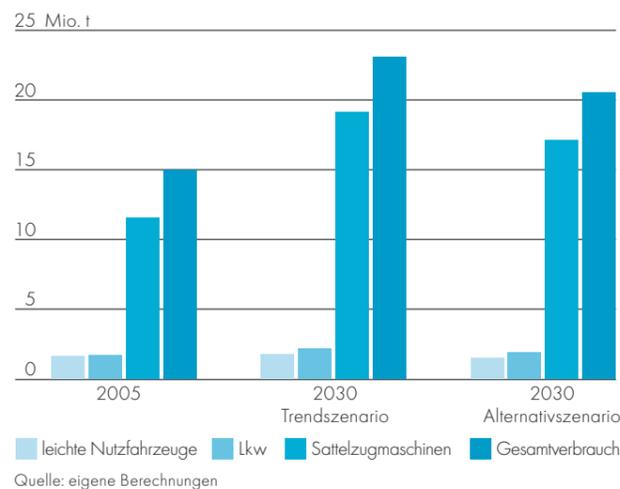
Im Trendszenario kann der durchschnittliche Flottenkraftstoffverbrauch aller in Deutschland fahrenden Nutzfahrzeuge (reale Verbräuche) im Zeitraum 2005 bis 2030 um etwa 15% bei leichten Nutzfahrzeugen auf 8,7 l/100 km und bei Lkw auf 16,4 l/100 km sowie um etwa 18% bei Sattelzugmaschinen auf 29,5 l/100 km gesenkt werden. Dabei wurden die Erneuerungsrate dieser Fahrzeuge und die technische Umsetzung effizienter Fahrzeugtechnologien in Serienfahrzeugen ab dem Jahr 2020 vorausgesetzt.

Der Fortschritt bei den spezifischen Verbräuchen reicht jedoch nicht aus, um den Gesamtkraftstoffverbrauch im Jahr 2030 gegenüber dem Ausgangsjahr 2005 zu reduzieren (vgl. Abbildung 34). Ursache dafür ist die wachsende Verkehrsleistung, die wiederum höhere Fahrleistungen der Nutzfahrzeuge mit sich bringt. Dies hat zur Folge, dass der gesamte Kraftstoffverbrauch des Straßengüterverkehrs in Deutschland (deutsche und ausländische Nutzfahrzeuge) bis 2030 um ca. 54% gegenüber 2005 ansteigen wird. Im Jahr 2030 werden dann etwa 23 Mio. Tonnen flüssiger Kraftstoffe pro Jahr benötigt. Gut 20 Mio. Tonnen sind davon konventioneller Diesel, etwa 2,7 Mio. Tonnen Biokraftstoffe, die Diesel ersetzen beziehungsweise ergänzen.

Im Alternativszenario kann der durchschnittliche spezifische Kraftstoffverbrauch aller in Deutschland fahrenden Nutzfahrzeuge im Zeitraum 2005 bis 2030 um etwa 25% bei leichten Nutzfahrzeugen auf 7,7 l/100 km und bei Lkw auf 14,5 l/100 km sowie um etwa 26% bei Sattelzugmaschinen auf 26,3 l/100 km gesenkt werden.

Dagegen liegt der gesamte Kraftstoffverbrauch des Straßengüterverkehrs bei gut 20 Mio. Tonnen und damit um gut 37% über dem Verbrauch im Jahre 2005. Aufgrund des höheren

34 GESAMTKRAFTSTOFFVERBRAUCH NUTZFAHRZEUGE



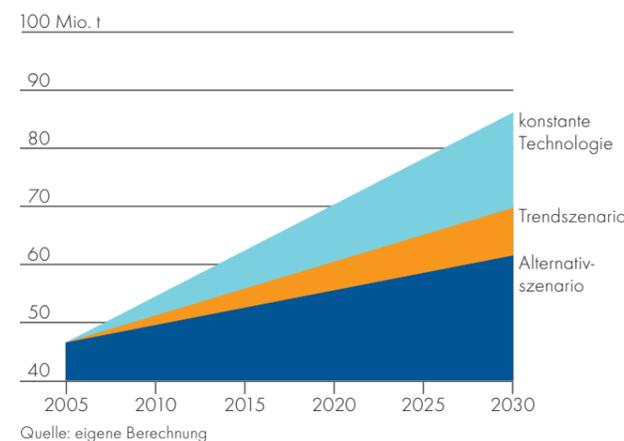
Biokraftstoffanteils von 20% liegt der Verbrauch von Biokraftstoffen dann beim Straßengüterverkehr bei gut 4 Mio. Tonnen; dies entspricht einer Steigerung um ca. 3 Mio. Tonnen gegenüber 2005.

Ursache für den Anstieg des Gesamtkraftstoffverbrauchs im Straßengüterverkehr ist in beiden Szenarien vor allem die Zunahme der Fahrleistung bei den Sattelzugmaschinen.

5.4 CO₂-EMISSIONEN DES STRASSEN GÜTERVERKEHRS

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

35 ABSCHÄTZUNG DER ENTWICKLUNG DER CO₂-EMISSIONEN DES STRASSEN GÜTERVERKEHRS



im Straßengüterverkehr im Betrachtungszeitraum auf 32% bzw. 61 Mio. Tonnen im Jahr 2030 begrenzt werden. Effizienztechnologien ermöglichen CO₂-Minderungen von etwa 18 Mio. Tonnen, über den Einsatz von Biokraftstoffen werden 7 Mio. Tonnen CO₂ reduziert.

Obwohl im Alternativszenario bereits einige aus heutiger Sicht ambitionierte Annahmen getroffen wurden, 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 Gesamtreaktion von CO₂ zu leisten (Abbildung 35).

5.5 HANDLUNGSOPTIONEN FÜR NACHHALTIGEN STRASSEN GÜTERVERKEHR

Effizienter Dieselantrieb, moderne Fahrzeugtechnik und nachhaltige Biokraftstoffe besitzen mittelfristig die größten Potenziale zur Verringerung von (spezifischen) CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs. Neue alternative Antriebe, welche auch die Anforderungen der verladenden Wirtschaft zufriedenstellen, werden im Straßengüterverkehr, insbesondere im Straßengüterfernverkehr bis 2030 nicht in entsprechender Reife und nicht in großem Umfang zur Verfügung stehen. Das heißt, dass bei schweren Lkw und SZM, wo aus heutiger Sicht mit neuen Antriebstechnologien der größte Fortschritt möglich wäre, zwar effizientere aber mit Dieselantrieb ausgestattete Nutzfahrzeuge dominieren werden. Immerhin könnte man einen weiteren, wenn auch kleineren Klimaschutzbeitrag seitens der leichten Nutzfahrzeuge und mittelschweren Lkw durch einen erhöhten Flottenumschlag erreichen. Weitere antriebs- oder fahrzeugeitige Effizienzsteigerungen der Gesamtflotte über den angenommenen Umfang hinaus sind jedoch nach heutigem Stand der Technik und bei der zu erwartenden Dauer der Durchsetzung effizienter oder alternativer Antriebe am Markt bis 2030 nur schwer vorstellbar.

Biokraftstoffe sind die einzige verfügbare Kraftstoffalternative, die mit Dieselschnologie kompatibel ist. Ein Biokraftstoffanteil von 12% bedeutet gegenüber heutigem Niveau zwar nur einen geringfügigen Anstieg; dieser ist aber aufgrund der damit verbundenen technischen Fragen keineswegs einfach zu bewältigen. In jedem Falle anspruchsvoll ist jedoch ein Biokraftstoffanteil von etwa 20% bis 2030. Hierfür wären bis zum Ende des Betrachtungszeitraums neue Biokraftstoffe, die auch hohen Nachhaltigkeitsanforderungen genügen, in relevanten kommerziellen Mengen bereitzustellen. Diese Biokraftstoffvolumina müsste sich der Straßengüterverkehr mit einer wachsenden Diesel-Pkw-Flotte teilen. Allenfalls um wenige Prozentpunkte scheint im Betrachtungszeitraum noch eine weitere Erhöhung des Bioanteils denkbar.

Deutlich wird: Technologische Verbesserungen der Nutzfahrzeuge reichen allein nicht aus, um die gesamten (absoluten) CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs zu senken. Welche weiteren Handlungsoptionen gibt es, um die CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs zumindest auf dem heutigen Niveau zu stabilisieren?

Zusätzliche absolute CO₂-Einsparungen können im Straßengüterverkehr nur erreicht werden, wenn der weitere Anstieg der Fahrleistungen gedämpft wird. Würden beispielsweise die Fahrleistungen leichter Nutzfahrzeuge und Lkw nochmals jeweils um etwa 20% und der SZM um 25% gegenüber dem Alternativszenario abgesenkt, könnten die gesamten CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs in Deutschland auf dem Niveau des Jahres 2005 gehalten werden.

Lkw-Fahrleistungen können reduziert werden, wenn die durchschnittliche Auslastung der Nutzfahrzeuge erhöht oder der Anteil an Leerfahrkilometern gesenkt wird. Hierzu können

entsprechende IT-gestützte Dispositionssysteme und Kooperationen zwischen Speditionsdienstleistern beitragen. Auch eine Veränderung von Maßen und Gewichten - zumindest für einzelne Relationen - kann beim Einsatz größerer Ladevolumina pro Fahrzeugkilometer zur Reduktion von Fahrleistungen und Kraftstoffverbrauch beitragen.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion der Fahrleistungen im Straßengüterverkehr besteht in Maßnahmen zur Verlagerung des Güterverkehrs auf andere, ökologisch vorteilhaftere Verkehrsträger. Allerdings ist dies oftmals nur unter Berücksichtigung von Anforderungen der Verloader zum Beispiel zur Transportzeit, Qualität, Flexibilität usw. möglich. Als Hoffnungsträger gilt hierfür der weitere Ausbau des intermodalen Güterverkehrs, wodurch CO₂-Emissionen beim Straßengüterverkehr wegfallen. Da die alternativ eingesetzten Verkehrsträger aber ebenfalls CO₂ emittieren, ist eine positive CO₂-Emissionsbilanz durch intermodalen Verkehr vor allem bei hohen Transportweiten zu erwarten.

Ein dritter Ansatzpunkt wäre die Entkopplung von Verkehr und wirtschaftlicher Entwicklung. Allerdings ist die Gütertransportintensität, das ist das Verhältnis von Güterverkehrsleistung zum BIP, in den letzten Jahren weiter gewachsen; das heißt mehr Wachstum führte durchgehend zu einer höheren Verkehrsleistung. Für eine nachhaltige Entkopplung von Güterverkehr und Wirtschaftsentwicklung müssten die in den letzten Jahren geschaffenen Beschaffungs-, Produktions- und Logistikstrukturen der deutschen Volkswirtschaft weniger transportintensiv gestaltet werden. Angesichts der durch den EU-Binnenmarkt und die Globalisierung der Weltmärkte vorhandenen Produktions- und Handelsstrukturen ist derzeit nicht erkennbar, wie dies erreicht werden kann. An dieser Stelle gibt es erheblichen politischen Diskussionsbedarf, aber auch Forschungsbedarf.

Letztendlich kann Güterverkehr nur durch eine Betrachtung der Bedürfnisse der verladenden Wirtschaft sowie der möglichen Entwicklung der Transportdienstleister und der Transportmodi analysiert werden, um daraus Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen abzuleiten. Einen solchen Ansatz verfolgte das Projekt Renewability, das im Auftrag des Bundesumweltministeriums durchgeführt wurde.⁹⁴⁾ Ziel des Projektes war, ein Szenario für den gesamten Verkehr in Deutschland sowohl auf der Ebene politischer Maßnahmen als auch zu technischen Innovationen zu erarbeiten, die Wirkung auf die CO₂-Emissionen des Verkehrsbereichs zu berechnen und politische Handlungsempfehlungen abzuleiten. Dabei spielte die Entwicklung von Straße und Schiene eine wichtige Rolle, auch mit Blick auf die Wünsche der Transportkunden und die Frage nach zu erweiternden Kapazitäten. Es hat sich gezeigt, dass die Erhöhung bei den Transportkosten im Straßengüterverkehr zur Verlagerung auf andere Verkehrsträger führt, aber auch dann der Straßengüterverkehr der wichtigste Verkehrsträger bleibt.

⁹⁴⁾ Vgl. Öko-Institut/DLR-IVF, Renewability, Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030, Endbericht Teil 2, Berlin, Dezember 2009.

5.6 CO₂-EMISSIONEN DES MOTORISIERTEN STRASSENVERKEHRS

Abschließend sollen nun die CO₂-Emissionen von Lkw und Pkw zusammen bis 2030 abgeschätzt werden. Datenbasis für die CO₂-Emissionen der Pkw sind die Shell Pkw-Szenarien bis 2030.⁹⁵⁾ Auch dort wurde ein Trend- und ein Alternativszenario zur Abschätzung künftiger Kraftstoffverbräuche und CO₂-Emissionen erstellt. Die Rahmenbedingungen der beiden Trend- und Alternativszenarien sind ähnlich und daher gut vergleichbar. Im Folgenden werden daher die CO₂-Emissionen der Trend- und Alternativszenarien jeweils miteinander kombiniert. Daraus lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

Im Trendszenario bleibt die Summe der gesamten CO₂-Emissionen im Straßengüterverkehr und im motorisierten Individualverkehr gegenüber dem Ausgangsjahr 2005 fast gleich; sie geht leicht von 158 auf 156 Mio. Tonnen CO₂ zurück. Im Alternativszenario kann hingegen eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 17% gegenüber dem Basisjahr 2005

95) Shell Deutschland, a.a.O., S.40f.

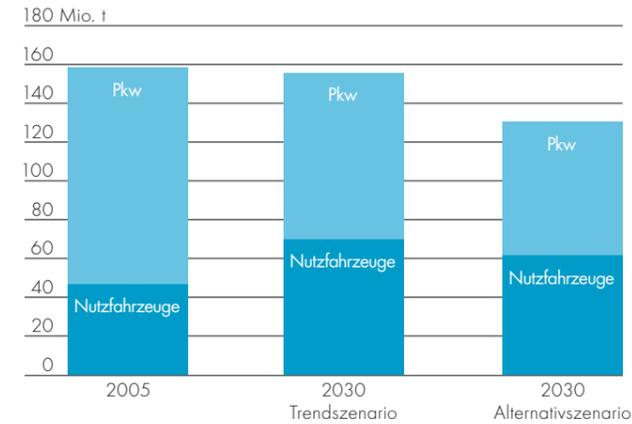
dann 131 Mio. Tonnen erreicht werden. Zwar werden damit immer noch nicht alle aktuellen Reduktionsziele – wie die 14%ige Emissionsminderung für Nichtemissionshandelssektoren bis 2020 – erreicht.⁹⁶⁾ In Summe bewegt sich der gesamte Straßenverkehr unter Alternativbedingungen damit jedoch deutlich in die richtige Richtung.

Es zeigt sich allerdings auch, dass der Anteil der Nutzfahrzeuge an den straßenverkehrsbedingten CO₂-Emissionen in beiden Szenarien steigt – von heute etwa 29% auf 45% im Trend- bzw. 47% im Alternativszenario. Dies liegt zum Teil daran, dass sich im Pkw-Bereich bis 2030 alternative Antriebe etwas schneller verbreiten.

Weitaus wichtiger sind jedoch unterschiedliche Entwicklungen bei den jeweiligen Fahrleistungen. Während der Straßengüterverkehr seine Fahrleistungen über alle Fahrzeugklassen von

96) Im EU-Klima-Programm wurde das Jahr 2005 als neues Basisjahr für die EU-Klimaschutzpolitik festgelegt. Vgl. EU-Kommission, Entscheidung über die Anstrengung der Mitgliedsstaaten zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen mit Blick auf die Erfüllung der Verpflichtungen der Gemeinschaft zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020, KOM (2008), 17 endgültig, 2008/0014 (COD), Brüssel 23.1.2008. Das Ziel für Deutschland lautet gemäß Anhang minus 14% für die Nicht-Emissionshandelssektoren, darunter auch der Verkehrsbereich im Zeitraum 2020/2005.

36 ENTWICKLUNG DER CO₂-EMISSIONEN BEI PKW UND NUTZFAHRZEUGEN



Quelle: Shell Pkw-Szenarien; eigene Berechnungen

69 auf 117 Mrd. Fahrzeugkilometer erhöht, bleiben die Pkw-Fahrleistungen etwa konstant auf heutigem Niveau; das heißt bei etwa 590 Mrd. Pkw-Kilometern. Die spezifischen Verbrauchseinsparungen in der Pkw-Flotte werden in den kommenden Jahren folglich fast vollständig sichtbar, während

sie bei den Nutzfahrzeugen durch mehr Fahrleistungen überkompensiert werden.

Die in den Alternativszenarien unterstellten Effizienz- und CO₂-Reduktionspotenziale verlangen erhebliche Anstrengungen und Innovationen im Bereich der Fahrzeug-, Antriebs- und Kraftstofftechnologie.

Darüber hinausgehende CO₂-Einsparungen des motorisierten Straßenverkehrs sind aus technologischer Perspektive bis 2030 voraussichtlich nicht zu erwarten.

Zusätzliche CO₂-Minderungen können nur erschlossen werden durch integrierte verkehrs- und klimapolitische Konzepte. Aber auch hier werden Nutzfahrzeuge und Pkw wesentliche Träger von Güter- und Personenmobilität sein.



ZUSAMMENFASSUNG

SHELL LKW-STUDIE

Shell befasst sich seit vielen Jahren mit Szenarien und Fragen zur Zukunft der Mobilität. Seit 1958 beobachtet und analysiert Shell Auto-Mobilität in Deutschland und hat 2009 die 25. Ausgabe der Shell Pkw-Szenarien bis 2030 veröffentlicht. Nun legt Shell – in Zusammenarbeit mit dem Institut für Verkehrsforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt – die erste Shell Lkw-Studie vor.

Die Erforschung von Pkw-Trends ist wichtig zur Vorausschau auf künftige Entwicklungen im gesamten Verkehrsbereich; denn der Pkw ragt unter allen Verkehrsträgern in seiner Bedeutung weit heraus. Doch der Straßengüterverkehr hat sich in den vergangenen zwei Jahrzehnten außerordentlich dynamisch entwickelt und wird dies voraussichtlich auch weiterhin tun. Ganz ähnlich wie beim Pkw stellt sich auch beim Lkw immer dringender die Frage: Wie geht's weiter? Und wie kann die Nachhaltigkeit des Lkw in den Bereichen Umwelt, Energie und Klima verbessert werden? Dabei scheinen alternative Technologien für den Güterverkehr auf der Straße weit weniger entwickelt und noch weiter von der Marktreife entfernt als im Pkw-Bereich. Bislang ist zumindest kein Königsweg für den Straßengüterverkehr von morgen in Sicht.

Um so wichtiger ist es, sich eine bessere Vorstellung von der Zukunft – oder besser: möglichen Zukünften – des Straßengüterverkehrs zu machen. Denn es gibt nicht die eine zu erwartende Zukunft; vielmehr sind künftige Entwicklungen weitgehend ungewiss. Hier kann Szenario-Technik helfen, alternative Entwicklungspfade zu explorieren.

Die erste Shell Lkw-Studie trägt den Untertitel *Fakten, Trends und Perspektiven im Straßengüterverkehr bis 2030*. Sie stellt wichtige Fakten im und um den Güterkraftverkehr vor, untersucht aktuelle und künftige Trends und zeigt Perspektiven

langfristiger Entwicklungen im Straßengüterverkehr auf. Die Lkw-Studie konzentriert sich dabei auf Entwicklungen in Deutschland. Sie gibt an einzelnen Stellen aber auch Einblicke in globale oder europäische Entwicklungen.

Im Zentrum der ersten Shell Lkw-Studie stehen die im Straßengüterverkehr eingesetzten motorisierten Kraftfahrzeuge – im täglichen Sprachgebrauch oftmals auch vereinfachend Lkw genannt. Ziel der Studie ist es, Informationen und Orientierung über die technologischen Perspektiven der im Straßengüterverkehr eingesetzten Fahrzeuge bereitzustellen. Und sie schätzt technologische Potenziale heutiger sowie mittelfristig verfügbarer Antriebs-, Fahrzeug- und Kraftstofftechnologien im Nutzfahrzeugsektor und ihre möglichen Auswirkungen auf Umwelt-, Energie- und Klimaziele ab. Die wichtigsten Ergebnisse der Shell Lkw-Studie bis 2030 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

GÜTERVERKEHR IN DEUTSCHLAND

Zunächst wird der gesamtwirtschaftliche und verkehrliche Kontext des Straßengüterverkehrs in Deutschland bis 2030 dargestellt: Güterverkehr ist abgeleiteter Verkehr und wird von Entwicklungen in der Wirtschaft bestimmt. Von wachsender Bedeutung für den Güterverkehr ist der grenzüberschreitende Handel – Deutschland verwendet immerhin zwei Fünftel seiner Wirtschaftsleistung für den Export, insbesondere von Industriegütern. Der internationale Güteraustausch, vor allem Industriegüterexporte, reagieren sehr stark auf Veränderungen des BIP. Die politische, infrastrukturelle und technologische Basis für fortschreitende Wirtschaftsintegration bleibt trotz Finanz- und Wirtschaftskrise weiter intakt. Daher wird mit einer Erholung der Weltwirtschaft der internationale Güteraustausch und damit auch der Güterverkehr wieder deutlich zulegen.

Das Güterverkehrsaufkommen in Deutschland liegt heute (2008) bei 4 Mrd. Tonnen, die Güterverkehrsleistung bei rund 670 Mrd. Tonnenkilometer. Im Laufe der Jahre haben sich die Güterstruktur (leichte hochwertige Produkte), die logistischen Konzepte (just-in-time), aber auch die politischen Rahmenbedingungen für den Güterverkehr erheblich verändert. Mit einem Anteil von knapp 70 % trägt der Straßengüterverkehr heute die Hauptlast des Güterverkehrs. Die Güterverkehrsleistung in Deutschland wird bis 2030 auf über 1.000 Mrd. Tonnenkilometer anwachsen; der Lkw kann seinen Anteil am Modalsplit auf dann gut 70 % leicht ausbauen. In der EU-27 wird die Transportleistung ebenfalls deutlich um etwa 50 % auf rund 3.400 Mrd. Tonnenkilometer 2030 zulegen.

Güterverkehr ist nicht nur Voraussetzung für wirtschaftliche Entwicklung, sondern selbst auch ein wichtiger und außerordentlich dynamischer Wirtschaftsfaktor. Die Abgrenzung des Straßengüterverkehrs anhand wirtschaftsstatistischer Daten ist allerdings nicht einfach. Immerhin werden im Bereich Güterverkehr und Logistik in Deutschland heute rund 200 Mrd. Euro Umsatz mit etwa 2,6 Mio. Beschäftigten erwirtschaftet. Deutschland gehört damit zu den weltweit führenden Logistikstandorten.

Die Transportmittelwahl der verladenden Wirtschaft – das heißt, ob Lkw, Bahn oder Binnenschiff – wird maßgeblich von den jeweiligen Stärken und Schwächen der einzelnen Verkehrsträger beeinflusst. In Summe trifft der Straßengüterverkehr aufgrund seiner Qualitätseigenschaften die steigenden Marktanforderungen am besten. In der Praxis wird jedoch ein wesentlicher Teil der Gütertransporte als multi- oder intermodaler Verkehr durchgeführt. Trotz bester Zukunftsperspektiven unter allen Verkehrsträgern bleibt der Lkw Kristallisationspunkt vieler Diskussionen um Ökologie, Energie, Klima oder die Zukunft arbeitsteiligen Wirtschaftens überhaupt.

FAZIT:

Der Straßengüterverkehr trägt mit rund 70 % heute die Hauptlast des Güterverkehrs und entwickelt sich – nicht zuletzt aufgrund seiner Transport- und Qualitätseigenschaften – weiterhin sehr dynamisch. Er ist außerdem ein bedeutender Wirtschaftsfaktor.

TYPEN, FLOTTEN, NEUZULASSUNGEN

Die im Güterverkehr eingesetzten Kraftfahrzeuge haben sich – ebenso wie die Funktionen und Dienstleistungen des heutigen Straßengüterverkehrs – stark ausdifferenziert. Güterkraftfahrzeuge werden national und international in Abhängigkeit von ihrem zulässigen Gesamtgewicht in unterschiedliche Fahrzeugklassen eingeteilt. Die wichtigsten Kategorien in Deutschland sind leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht, leichte und schwere Lastkraftwagen (Lkw) sowie Sattelzugmaschinen (SZM). Deutschland besitzt mit 2,5 Mio. Nutzfahrzeugen für den Gütertransport eine der größten Fahrzeugflotten und ist mit zeitweise über 300 Tsd. Neuzulassungen pro Jahr einer der größten Nutzfahrzeugmärkte in Europa. Bei den Neuzulassungen von Lkw und Sattelzugmaschinen über 3,5 Tonnen ist Deutschland der mit Abstand größte Fahrzeugmarkt in der EU-27; der Anteil der deutschen an den europäischen Zulassungen liegt bei fast einem Viertel.

Der Gesamtbestand an Nutzfahrzeugen ist seit Anfang der 1990er Jahre von etwa 1,5 auf gut 2,5 Mio. Einheiten um zwei Drittel angestiegen – nach alter Zählung hätte er sich sogar auf knapp 2,9 Mio. Fahrzeuge verdoppelt. Zuletzt ist der Bestand jedoch nur noch geringfügig gewachsen. Zwischen den einzelnen Fahrzeugklassen zeigen sich zum Teil sehr deutliche Unterschiede: Die dynamischste Entwicklung verzeichneten die leichten Nutzfahrzeuge bis 3,5 Tonnen, deren Bestand sich von etwa 800 Tsd. um 1990 auf etwa 2 Mio. Fahrzeuge im Jahr 2009 mehr als verdoppelt hat. Ebenfalls fast verdoppelt hat sich der Bestand an Sattelzugmaschinen auf rund 200 Tsd. Fahrzeuge. Sattelzüge sind Hauptträger des Straßengüterfernverkehrs.

Die Neuzulassungen schwankten in den vergangenen Jahren zwischen 200 Tsd. und mehr als 300 Tsd. Fahrzeugen pro Jahr. 2009 waren die Zulassungszahlen besonders stark rückläufig – historisch vergleichbar nur noch mit dem Rückgang 1992/93. Auch bei den Neuzulassungen bestimmten

leichte Nutzfahrzeuge mit einem Anteil von etwa drei Vierteln und Sattelzüge mit etwa einem Zehntel den Trend. 2030 werden etwa 3 Mio. Nutzfahrzeuge in Deutschland erwartet. Die jährlichen Neuzulassungszahlen werden weiter stark schwanken und voraussichtlich auf durchschnittlich über 300 Tsd. Fahrzeuge ansteigen.

FAZIT:

Deutschland ist mit einem Anteil von rund einem Viertel an den Neuzulassungen von Lkw und Sattelzugmaschinen über 3,5 Tonnen der größte Fahrzeugmarkt in Europa.

Der Gesamtbestand an Nutzfahrzeugen hat sich in Deutschland seit 1990 um nahezu zwei Drittel von etwa 1,5 auf 2,5 Mio. Einheiten erhöht. Die dynamischsten Fahrzeugklassen sind leichte Nutzfahrzeuge und Sattelzüge.

STRASSENGÜTERVERKEHR UND UMWELT

Notwendigkeit und Nutzen des Güterkraftverkehrs für die Güterverteilung und die Versorgung der Bevölkerung sind weithin unbestritten. Mit zunehmender Anzahl und Fahrleistungen von Lkw und Sattelzügen nimmt jedoch auch die Belastung von Mensch und Umwelt zu. So werden beim Einsatz von Kraftstoffen in Verbrennungsmotoren Luftschadstoffe freigesetzt, die sich negativ auf die Luftqualität auswirken. Deshalb hat wohl kaum ein Thema die im Straßengüterverkehr eingesetzten Antriebstechnologien und Kraftstoffe in den vergangenen zwei Jahrzehnten derart verändert wie die Luftreinhaltepolitik.

Zum Schutz von Mensch und Umwelt hat die Umweltpolitik immer striktere Anforderungen festgelegt: Für Partikel und Stickoxide gelten ab 2010 noch strengere Grenzwerte für die Konzentration in der Luft. Und bei beiden Luftschadstoffen ist der Straßenverkehr – neben anderen Sektoren – eine wichtige Emissionsquelle. Zusätzlich zu den neuen Luftqualitätsstandards wurden daher weitere quellbezogene Emissionsvorschriften für den Verkehrsbereich erlassen. Diese legen zum einen umweltbezogene Spezifikationen für Kraftstoffinhaltsstoffe fest und begrenzen zum anderen die wichtigsten Luftschadstoffe in den Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen.

Die wichtigste Maßnahme im Kraftstoffbereich war die fast vollständige Entschwefelung der Kraftstoffe – in Deutschland bereits umgesetzt bis 2003. Zudem wurden für Nutzfahrzeuge ab dem Jahr 1992 Normgrenzwerte für Abgasemissionen – die Euronormen – eingeführt. Seit ihrer Einführung bis heute sind die Grenzwerte für die dort regulierten Schadstoffe um etwa zwei Drittel bis zu fast 90 % gesenkt worden. In den kommenden Jahren werden die Euronormen noch strenger, insbesondere für Partikel und Stickoxide. Bei der gleichzeitigen Minimierung von Partikel- und Stickoxidemissionen ergeben sich jedoch technische Zielkonflikte, die den Einsatz umfangreicher Abgasreinigungstechniken erforderlich machen. Strengere Euronormen führen zu höheren Fahrzeugkosten und teilweise zu einem Anstieg des Kraftstoffverbrauchs.

Heute weisen rund 85 % der Nutzfahrzeugflotte keine Schadstoffklassen oder Schadstoffklassen bis Euro 3/III auf. Saubere Fahrzeugtechnologie setzt sich jedoch immer weiter durch. Allerdings gibt es zwischen den einzelnen Nutzfahrzeugklassen zum Teil erhebliche Unterschiede, die weitgehend mit Differenzen beim durchschnittlichen Fahrzeugalter korrespondieren. Der Straßengüterfernverkehr in Deutschland erfolgt heute hauptsächlich mit Lkw und Sattelzügen, die Euro III oder V erfüllen. Die kleinste Nutzfahrzeugklasse, die leichten Nutzfahrzeuge, stützt sich dagegen gut zur Hälfte noch auf Euro 2 und 1 oder Fahrzeuge ohne Euronorm. Um sauberer Fahrzeugtechnologie möglichst rasch zum Durchbruch zu verhelfen, setzt die Politik zusätzlich zu Emissionsauflagen auf fiskalische Anreize und Fördermaßnahmen. Als durchaus wirkungsvoll hat sich bisher die emissionsabhängige Maut für Lkw und Sattelzugmaschinen ab 12 Tonnen auf Bundesautobahnen erwiesen. Für den städtischen Straßengüterverkehr werden dagegen zunehmend nicht-technische Maßnahmen wie Einfahrverbote erwogen, deren Wirkungen nicht unumstritten sind.

FAZIT:

Der Straßengüterverkehr wird immer sauberer. Der Straßengüterfernverkehr erfolgt hauptsächlich mit Euro-III- und Euro-V-Fahrzeugen. Die Flotte leichterer Nutzfahrzeuge modernisiert sich jedoch nur langsam. Hier spiegelt sich auch die unterschiedliche Effektivität umweltpolitischer Instrumente bei der Technologiediffusion wider.

Technisch aufwändigere Abgasreinigungstechnologie machten die Lkw jedoch teurer und erhöhten in den letzten Jahren teilweise den Energieverbrauch.

ANTRIEBE, KRAFTSTOFFE, FAHRZEUGTECHNIK

Neben der klassischen Umweltproblematik entwickeln sich Kraftstoff- und Energieverbrauch sowie Klimaschutz zu einem immer größeren Thema für die verladende Wirtschaft. Die Politik drängt zusätzlich auf eine stärkere Diversifizierung von Antrieben und Kraftstoffen sowie konsequente Adressierung der CO₂-Problematik auch im Straßengüterverkehr. Die verkehrswirtschaftlichen Akteure suchen deshalb heute intensiv nach Möglichkeiten, die Energieeffizienz im motorisierten Straßengüterverkehr zu erhöhen sowie Energieverbrauch und CO₂-Emissionen zu senken. Zur Verbesserung der Energie- und Klima-Performance des Güterkraftverkehrs bieten sich im Wesentlichen vier Ansatzpunkte: Antriebssysteme, Kraftstoff- bzw. Energieoptionen, Optimierung von Fahrzeugtechnik sowie Fahrverhalten und Verkehrsmanagement.

Der Dieselantrieb ist mit rund 93 % Anteil an der gesamten Nutzfahrzeugflotte die derzeit dominante Antriebsform. Betrachtet man die für den Straßengüterverkehr besonders relevanten höheren Gewichtsklassen, so werden dort 99 % Dieselantrieb und mehr erreicht. Damit bildet der Dieselmotor das motortechnische, Dieselmotor das energetische Rückgrat des Güterkraftverkehrs. Ungeachtet seiner langen Entwicklungszeit ist der Dieselantrieb auch heute technolo-

gisch noch lange nicht ausgereizt. Mittelfristig ist allein bei Motor und Antriebsstrang ein weiteres effektives Einsparpotenzial von etwa 10 % zu erwarten.

Zusätzlich können in fast allen Dieselfahrzeugen schon heute Biokraftstoffe eingesetzt werden. Die wichtigste biogene Kraftstoffalternative ist derzeit Biodiesel. Heute können dem Dieselmotor bis zu 7 % Biodiesel beigemischt werden. In Abhängigkeit von Fahrzeug- und Kraftstofftechnologie könnten im Güterkraftverkehr bis 2030 durchaus 20 % Biokraftstoff eingesetzt werden. Biokraftstoffe unterscheiden sich vor allem in ihrer Herstellungsart, zum Beispiel in ihrer CO₂-Gesamtbilanz. Nachhaltige Biokraftstoffe sind ein wichtiges Element jeder Nachhaltigkeitsstrategie für den Straßengüterverkehr.

Neben flüssigen Kraftstoffen für Dieselmotoren befindet sich der Einsatz von komprimiertem Erdgas (CNG) und Flüssiggas (LPG) in einer frühen Markteinführungsphase und bei einigen Fahrzeugen noch in der Entwicklungsphase. Beide Kraftstoffoptionen, vor allem aber CNG, finden künftig Anwendung in Marktnischen, das heißt im städtischen Verkehr mit leichten Nutzfahrzeugen und Lkw.

Darüber hinaus werden von Hybrid-, Elektro- und Wasserstoffantrieb große technologische Impulse für die künftige Fahrzeugentwicklung erwartet. Elektrifizierung und Hybridisierung des Antriebsstrangs werden weiter voranschreiten. Vollwertige Hybridfahrzeuge und Elektro-Lkw stehen jedoch erst am Anfang ihrer Entwicklung. Auch ihr bevorzugtes Einsatzgebiet dürften vorerst städtische Liefer- und Verteilerverkehre sein; hier erreichen sie die höchsten Einsparpotenziale. Das Haupteinsatzgebiet von Wasserstoff sind bislang ausgewählte Busflotten für den regionalen und städtischen Personenverkehr. Die Nachhaltigkeit von Elektromobilität und Wasserstofftechnologie hängt jedoch entscheidend von der Treibhausgasbilanz des Fahrstromes bzw. Wasserstoffs ab.

Über Antriebe und Kraftstoffe hinaus besteht weiterhin erhebliches Potenzial, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen durch verbesserte Fahrzeugtechnik zu senken. Ein weiterer Hauptansatzpunkt optimierter Fahrzeugtechnik ist die Reduzierung des Fahrwiderstandes durch eine aerodynamische Gestaltung von Nutzfahrzeugen. Immerhin werden fast 40 % des Gesamtenergieaufwandes zum Bewegen eines 40-Tonnens bei 85 km/h dafür benötigt, den Luftwiderstand zu überwinden. Weitere Ansatzpunkte sind die Reduzierung des Rollwiderstandes, zum Beispiel durch Leichtlaufreifen oder Gewichtsreduzierung durch Leichtbau. Weitere Kraftstoffeinsparungen können schließlich verbessertes Fahrverhalten und Verkehrsmanagement erbringen.

Alles in allem werden sich Antriebs- und Kraftstoffkonzepte auch im Güterkraftverkehr in den kommenden Jahren aufklären, wenn auch langsamer als im motorisierten Individualverkehr. Gleichwohl wird der Lkw des Jahres 2030 voraussichtlich mit weiter verbesserter Dieselmotor-Technologie fahren, zunehmend mit Hybridelementen ausgestattet sein sowie nachhaltige Biokraftstoffe mit optimierter Fahrzeugtechnologie kombinieren.

FAZIT:

Der Dieselantrieb dominiert heute bei den Güterkraftfahrzeugen. Sein Anteil an der Gesamtflotte liegt bei 93 %, in wichtigen Fahrzeugklassen sind es sogar 99 %.

Der Lkw des Jahres 2030 wird voraussichtlich weiter verbesserte Dieselmotor-Technologie nutzen, je nach Fahrprofil Hybridtechnik einsetzen, nachhaltige Biokraftstoffe und optimierte Fahrzeugtechnologien kombinieren.

KRAFTSTOFFVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Der Straßengüterverkehr trägt heute (2008) mit gut 5 % zu den gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland bei. Allerdings werden die Verkehrs- und Fahrleistungen des Straßengüterverkehrs in den kommenden Jahren voraussichtlich weiter kräftig steigen. Trotz seines vergleichsweise geringen Anteils an den CO₂-Gesamtemissionen gerät der Güterkraftverkehr daher immer stärker in den Blickpunkt von Verkehrs-, Energie- und Klimapolitik. Sie fordert, dass die Energieversorgung des Straßengüterverkehrs auf eine breitere Basis gestellt wird. Gleichzeitig sollen die CO₂-Emissionen der Nutzfahrzeuge künftig deutlich reduziert werden.

Anhand zweier Technologie-Szenarien – eines Trend- sowie eines Alternativszenarios – wird daher untersucht, welchen Beitrag der Straßengüterverkehr in den nächsten 20 Jahren tatsächlich zu Energiediversifizierung und Klimaschutz leisten kann. Für beide Szenarien wurde angenommen, dass sich kraftstoffsparende Technologien bis 2030 bei leichten Nutzfahrzeugen und Lkw weitgehend, bei Sattelzügen fast vollständig durchsetzen. Für beide Szenarien wurden Fahrleistungen, Verbräuche und Emissionen aus der bis zum Jahre 2030 fortgeschriebenen Verkehrsprognose 2025 der Bundesregierung abgeleitet. Danach steigt die Gesamtfahrleistung aller Nutzfahrzeuge im Straßengüterverkehr von rund 70 Mrd. Fahrzeugkilometern im Jahr 2005 auf 117,4 Mrd. 2030; mit einer Steigerung um fast 100 % weisen Sattelzüge die höchste Steigerungsrate auf.

Im Trendszenario setzen sich die Technologietrends der jüngeren Vergangenheit kontinuierlich weiter fort. Durch eine immer stärkere Hybridisierung, aber auch durch technische Neuerungen bei Motor und Getriebe, können die durchschnittlichen Kraftstoffverbräuche von leichten Nutzfahrzeugen und Lkw um 23 % bzw. 19 % reduziert werden. Alternative Kraftstoffe legen dabei nur moderat zu; Biokraftstoffe erreichen einen Kraftstoffanteil von etwa 12 %. Elektromobilität schreitet nur bei leichten Nutzfahrzeugen und leichten Lkw allmählich voran, spielt aber bei Sattelzugmaschinen weiterhin keine Rolle.

Im Alternativszenario schreiten Innovation und Markteinführung neuer Antriebs-, Kraftstoff- und Fahrzeugtechnologien deutlich schneller voran. Durch zusätzliche Maßnahmen in den Bereichen Hybridisierung, Aerodynamik und Fahrweise können leichte Nutzfahrzeuge ihren Kraftstoffverbrauch um 36 %, Sattelzüge immerhin um 28 % gegenüber 2005

senken. Alternative Kraftstoffe legen deutlich stärker zu. Der Bioanteil am Kraftstoffabsatz steigt dank neuer nachhaltiger Biokraftstoffe gegen Ende der 2020er Jahre auf rund 20 %. CNG und Elektromobilität erreichen ebenfalls höhere Fahrleistungsanteile, insbesondere in den niedrigeren Gewichtsklassen.

Der durchschnittliche Flottenverbrauch sinkt bis 2030 gegenüber 2005 um 15 bis 18 % im Trendszenario. Aufgrund steigender Verkehrs- und Fahrleistungen steigt der Gesamtkraftstoffverbrauch jedoch bis 2030 um 54 % auf dann etwa 23 Mio. Tonnen an, davon etwa 2,7 Mio. Tonnen Biokraftstoffe. Trotz zum Teil deutlicher Effizienzsteigerungen steigen die gesamten CO₂-Emissionen des Güterkraftverkehrs um etwa 50 % auf rund 70 Mio. Tonnen im Jahre 2030.

Im Alternativszenario geht der spezifische Verbrauch um 25 bis 26 % zurück. Der gesamte Kraftstoffverbrauch liegt dann im Jahre 2030 bei gut 20 Mio. Tonnen oder gut 37 % über dem Verbrauch von 2005; Biokraftstoffe erreichen hier etwa 4 Mio. Tonnen. Effizienztechnologien und Biokraftstoffe sorgen mit dafür, dass die CO₂-Emissionen deutlich geringer ansteigen, und zwar um 32 % auf dann 61 Mio. Tonnen. Dennoch kommt es infolge steigender Verkehrs- und Fahrleistungen auch im Alternativszenario immer noch zu einem Anstieg der CO₂-Emissionen. Technologische Verbesserungen von Antrieben, Kraftstoffen und Fahrzeugen sind folglich von großer Bedeutung für die Klimabilanz, reichen allein aber nicht aus, um die gesamten (absoluten) CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs zu senken; hierfür müssten weitere Handlungsoptionen, die sich auf Güterverkehrs- und Fahrleistungen richten, in Betracht gezogen werden.

Betrachtet man die CO₂-Emissionen des motorisierten Straßenverkehrs in Deutschland insgesamt, so verhalten sich diese im Trendszenario weitgehend stabil. Demgegenüber gehen sie im Alternativszenario – dank erheblicher technologischer Verbesserungen bei den Pkw, aber auch bei Lkw – deutlich um etwa 17 % im Zeitraum 2005 bis 2030 zurück. Aufgrund des deutlichen Rückgangs bei den Pkw steigt der Anteil des Güterkraftverkehrs an den straßenverkehrsbedingten CO₂-Emissionen – von heute 29 % auf 45 % im Trend- bzw. 47 % im Alternativszenario.

FAZIT:

Der Anteil des Straßengüterverkehrs an den gesamten CO₂-Emissionen liegt heute bei 5 %; dieser wird jedoch aufgrund erwarteter Verkehrs- und Fahrleistungen des Lkw steigen.

Aufgrund technologischer Verbesserungen am Lkw, vor allem aber dank deutlich nachhaltigerer Pkw-Mobilität bleiben die CO₂-Emissionen des motorisierten Straßenverkehrs im Zeitraum 2005 bis 2030 im Trendszenario stabil, im Alternativszenario sinken sie gar um etwa 17 %.

Aberle, Gerd

Transportwirtschaft. Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen, 5. Auflage, München 2009.

ACEA

Greening Transport Package Communication from the Commission Strategy for the internalisation of external costs COM(2008) 435final, ACEA1 Position, Brüssel September 2008.

ACEA

New Vehicle Registrations – By Country, Brüssel 2009.

Adolf, Jörg

Boom in der Biokraftstoffbranche – eine nachhaltige Entwicklung? in: Wirtschaftsdienst, Jg. 86, 2006, Heft 12, S. 778-785.

Adolf, Jörg

Biokraftstoffe, Nachhaltigkeit und Unternehmensreputation. Herausforderungen für das Issues Management bei Shell, in: Michael Kuhn, Gero Kalt, Achim Kinter (Hrsg.), Strategisches Issues Management, Frankfurt/M., 2009, S. 119-127.

Arathymos, Neofitos

Aktuelle Fragen und Antworten für Nutzfahrzeuge – Themenkomplex Feinstaub, Nachrüstung mit Partikelfilter, Kennzeichnung/ Umweltzonen, Förderung, Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe (Hrsg.), Bonn 2008.

Borchers, Ulrich

Fachartikel: Alter der Fahrzeuge, Stand. 3.12.2008, Kraftfahrt-Bundesamt (Hrsg.), Flensburg, den 21.4.2009

Baumann, Elmar

Biokraftstoffe in Deutschland: Marktübersicht und Entwicklungstendenzen. in: ERDÖL ERDGAS KOHLE, 126. Jg., 2010, Heft 1, S. 26-29.

BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt, Intraplan Consult

Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. München/Freiburg, den 14. November 2007.

Bundesamt für Güterverkehr

Marktbeobachtungen Güterverkehr. Tankverhalten deutscher Transportunternehmer 2008/2009, Köln August 2009.

Bundesamt für Güterverkehr

Marktbeobachtung Güterverkehr. Bericht Herbst 2009, Köln, November 2009.

Bundesamt für Güterverkehr

Marktbeobachtung Güterverkehr. Entwicklung des gewerblichen Güterkraftverkehrs und des Werkverkehrs deutscher Lastkraftfahrzeuge, Köln November 2009.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

Leitfaden Nachhaltige Biomasseherstellung, Bonn, Januar 2010.

Bundesregierung

Masterplan Güterverkehr und Logistik, Berlin 2008.

Bundesumweltministerium

Weiterentwicklung der Strategie zur Bioenergie, Berlin, April 2008

Continental

Worldwide Emission Standards and Related Regulations. Passenger Cars. Light & Medium Duty Vehicles, Regensburg, Februar 2009.

Deutsche Energieagentur

Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix, Berlin 2010.

DIW

Verkehr in Zahlen 2009/2010, Bundesverkehrsministerium (Hrsg.) 38. Ausgabe, Berlin 2009.

Ehmer, Philipp, Stefan Heng, Eric Heymann

Logistik in Deutschland. Wachstumsbranche in turbulenten Zeiten, in: Deutsche Bank Research, Aktuelle Themen 432, Frankfurt/M., 2. Oktober 2008.

Edwards, Robert et al.

Well-to-Wheel Analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Europäische Kommission (Hrsg.), Brüssel 2006.

Engerer, Hella, Manfred Horn

Erdgas im Tank für eine schadtsoffarme Zukunft. DIW Wochenbericht, 75. Jahrgang, Berlin 2008 Nr. 50/2008, S. 788-795.

Escaith, Hubert

Global Supply Chains in Times of International Crisis, in: Intereconomics, Vol. 44, No. 5, Sep/Oct 2009, S. 268-273.

EU-Kommission

Mitteilung. Bericht über das Programm Autoöl II, KOM(2000) 626 endgültig, Brüssel, 5.10.2000.

EU-Kommission

Mitteilung. Für ein mobiles Europa – Nachhaltige Mobilität für unseren Kontinent. Halbzeitbilanz zum Verkehrsweißbuch von 2001, KOM(2006) 314 endgültig, Brüssel, 22.6.2006.

EU-Kommission

Entscheidung über die Anstrengung der Mitgliedsstaaten zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen mit Blick auf die Erfüllung der Verpflichtungen der Gemeinschaft zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020, KOM (2008), 17 endgültig, 2008/0014 (COD), Brüssel, 23.1.2008.

European Renewable Energy Council/Greenpeace

Energy [R]Evolution. Brüssel/Amsterdam 2008.

Europäisches Parlament/Rat

Richtlinie 98/70/EG über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren, Anhang II und IV, Amtsblatt der Europäischen Union, L 350/58-68, Brüssel, 28.12.1998.

Europäisches Parlament/Rat

Richtlinie 2005/55/EG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Flüssiggas oder Erdgas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen, in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 275/1-163, Brüssel, 20.10.2005.

Europäisches Parlament/Rat

Verordnung (EG) 715/2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6), in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 171/1-16, Brüssel, 29.6.2007.

Europäisches Parlament/Rat

Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa, in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 152/1-44, Brüssel, 11.6.2008.

Europäisches Parlament/Rat

Richtlinie 2009/30/EG zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Spezifikationen für Otto-, Diesel- und Gasölkraftstoffe, ANHANG II, in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 140/88-113, Brüssel, den 5.6.2009.

Europäisches Parlament/Rat

Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 140/16, Brüssel, 5.6.2009.

Eurostat

Panorama of Transport 1990-2006, Sixth Edition, Luxemburg 2009.

Eurostat

Eurostat, Strukturelle Unternehmensstatistik (SUS), Haupttabellen, NACE-Klassifikation 60 bis 63, unter: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>

Fischknecht, Rolf, Marianne Lauenberger

Elektroauto – Königsweg oder Sackgasse? Arbeitskreis Umwelt MitarbeiterInnen Daimler AG, Präsentation, Sindelfingen, 29.6.2009.

Freeman, Richard B.

The Challenge of the Growing Globalization of Labor Markets to Economic and Social Policy, in: Eva Paus (Editor), Global Capitalism Unbound. Winners and Losers from Offshore Outsourcing, New York 2007, S. 23-40.

Friedman, Thomas L.

The World is Flat, 3. Aufl., New York 2007.

Geringer, Bernhard, Robert Rosenitsch

Einfluss der Abgasgesetzgebung auf den Verbrauch von Nutzfahrzeugen, Verband der Automobilindustrie (Hrsg.), Studie, Frankfurt/Main 2009.

Heinker, Manfred

Teurer Diesel war gestern – heute fährt der Lkw mit Flüssiggas. AutoGas Journal Heft 06/07, 1. Jahrgang, Bielefeld 2008, S. 36-40.

Hoepke, Erich und Stefan Breuer (Hrsg.)

Nutzfahrzeugtechnik – Grundlagen, Systeme, Komponenten, 4. Auflage, Wiesbaden 2006.

HyFLEET:CUTE

Hydrogen Transports, Bus Technology&Fuel for Today and for a Sustainable Future – A Report on the Achievements and Learnings from the HyFLEET:CUTE Project 2006-2009, Konferenz Hamburg, 17./18.11.2009.

Geitmann, Sven

Bekennnis zu Wasserstoff und Brennstoffzelle, in Hzwei – Das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen, Heft Oktober 2009, 9. Jahrgang, Oktober 2009, S. 20.

International Energy Agency

World Energy Outlook 2009, Paris 2009.

Kalinowska, Dominika, Uwe Kunert

Kraftfahrzeugverkehr 2008 noch auf hohem Niveau, in: DIW Wochenbericht, 76. Jahrgang, Berlin 2009 Nr. 50/2009 S. 872-882.

Knecht, Stefan

Mit Antrieb der Umwelt zuliebe, Logistik ökonomisch und ökologisch effizient gestalten, Straubing, Vortrag am 25.6.2009.

Kopp, Stephan, Stephan Schönherr, Holger Koos

Design und Aerodynamik bei Nutzfahrzeugen. Automobiltechnische Zeitschrift, 111. Jg., Heft 07-08, S. 512-517.

Korschinsky, Claus

Transport und Logistik. Erfolgsstrategien in bewegten Zeiten, IKB Information, Düsseldorf, Dezember 2009.

Kraftfahrt-Bundesamt

Der Fahrzeugbestand am 1.1.2008, Pressemitteilung Nr. 4/2008, Flensburg, den 23.1.2008.

Kraftfahrt-Bundesamt

Der Fahrzeugbestand am 1.1.2010, Pressemitteilung Nr. 6/2010, Flensburg, den 17.2.2010.

Kraftfahrt-Bundesamt

Fahrzeugzulassungen, Bestand, Emissionen, Kraftstoffe, 1. Januar 2009; Statistische Mitteilung des Kraftfahrt-Bundesamtes, Flensburg März 2009.

Kraftfahrt-Bundesamt

Statistische Mitteilungen, Reihe 2: Fahrzeugbestand, Jahrgänge 1990-2006.

Kraftfahrt-Bundesamt

Statistische Mitteilungen, Reihe 1: Kraftfahrzeuge – Neuzulassungen, Besitzumschreibungen, Löschungen, Bestand, Heft 12, Dezember (1996-2000), Heft 2, Februar (2001-2006).

Kraftfahrt-Bundesamt

Fahrzeugzulassungen (FZ) – Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Januar des Jahres, Sammelband, FZ 6, Jahrgänge 2007-2009.

Kraftfahrt-Bundesamt

Fahrzeugzulassungen (FZ) – Neuzulassungen, Besitzumschreibungen und Außerbetriebsetzungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern, des Jahres, Sammelband, FZ 7, Jahrgänge 2007-2009.

Lahl, Uwe

Ölwechsel. Biokraftstoffe und nachhaltige Mobilität, Berlin 2009.

Lastauto

Omnibus Katalog 1990-2010. lastauto omnibus 1989-2009.

Ludwig Bölkow Systemtechnik GmbH

HyWays – The European Hydrogen Roadmap, Ottobrunn 2008.

Mineralölwirtschaftsverband

Mineralölversorgung mit Pipelines, Hamburg 2006.

Mineralölwirtschaftsverband

Jahresbericht 2008, Berlin 2009.

Öko-Institut/DLR-IVF

Renewbility. Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030. Endbericht Teil 2, Berlin, Dezember 2009.

Öko-Institut/TU Dortmund/ Fraunhofergesellschaft IML

Nachhaltige Mobilität durch Innovationen im Güterverkehr. Berlin/Dortmund, 30. November 2007, S. 10.

Orgeldinger, Sibylle

Neue Techniken für Lkw-Reifen. Automobiltechnische Zeitschrift, Jahrgang 109, Heft 11/2007, S. 1040 – 1046.

Petersen, Morton Steen et al.

TRANSvisions. Report on Transport Scenarios with a 20 and 40 Year Horizon. Final Report, Kopenhagen 2009, S. 113.

Plowman, Grosvenor E.

Elements of business logistics, Stanford 1964, 1. Aufl.

Prognos/Ökoinstitut

Modell Deutschland, Klimaschutz bis 2050: vom Ziel her denken. Im Auftrag des WWF, Basel/Berlin, Endbericht vom 13.10.2009.

Progtrans

Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Basel, 31. Mai 2007.

Pucher, Ernst, Jan Müller

Sauberer Güterverteilerkehr in Wien, Wien 2005.

Puls, Thomas

Externe Kosten am Beispiel des deutschen Straßenverkehrs. Ökonomisches Konzept, politische Relevanz, praktische Möglichkeiten und Grenzen, Köln 2009.

Renschler, Andreas

Kraftstoffeffiziente Nutzfahrzeuge für einen nachhaltigen Güterverkehr. Vortrag auf der 62. IAA Nutzfahrzeuge, Hannover 2008.

Ricardo

Review of low carbon technologies for Heavy Goods Vehicles, London Juni 2009.

Shell Deutschland

Nachhaltige Auto-Mobilität bis 2030. Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität. Pkw-Szenarien für Deutschland, Hamburg 2009.

Shell International

Scenarios: An Explorer's Guide, Den Haag 2008.

Shell International

Shell Energy Scenarios to 2050, Den Haag 2008.

Statistisches Bundesamt

Verkehr in Deutschland 2006, Wiesbaden 2006.

Statistisches Bundesamt

Der Dienstleistungssektor. Wirtschaftsmotor in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse von 2003 bis 2008, Wiesbaden 2009, S. 36-40.

Statistisches Bundesamt

Güterverkehr 2009: Starker Rückgang des Transportaufkommens um 11,2 %, Pressemitteilung Nr. 30, Wiesbaden, den 21. Januar 2010.

Statistisches Bundesamt

Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Wichtige Zusammenhänge im Überblick, Wiesbaden 2010.

Umweltbundesamt

Daten zum Verkehr. Ausgabe 2009, Dessau 2009.

Umweltbundesamt

Hintergrund: Entwicklung der Luftqualität in Deutschland, Dessau, Oktober 2009.

Umweltbundesamt

Hintergrund: Feinstaubbelastung in Deutschland, Dessau, Mai 2009, S.4 und S.10f.

Umweltbundesamt

Strategie für einen nachhaltigen Güterverkehr. Dessau 2009, S.11f.

Umweltbundesamt

Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen (Luftschadstoffe), 1990-2008, Fassung zur EU-Submission, Dessau 15.1.2010.

Umweltbundesamt

Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen (Treibhausgase), 1990-2008, Fassung zur EU-Submission, Dessau 15.1.2010.

Verband der Automobilindustrie

Das Nutzfahrzeug - umweltfreundlich und effizient, Frankfurt am Main 2008.

Verband der Automobilindustrie

VDA-Positionspapier zur Internalisierung externer Kosten im Rahmen der Wegekostenrichtlinie. Frankfurt/Main 17.12.2008.

Verband der Automobilindustrie

Der Diesel in der Feinstaub-Diskussion, Frankfurt/Main 1.4.2005.

Verband der Automobilindustrie

Einfluss der Abgasgesetzgebung auf den Verbrauch von Nutzfahrzeugen, Frankfurt am Main, 2009.

Verkehrsclub Deutschland

VCD Kaufberatung Transporter, Berlin 2007.

World Bank

Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy. Washington 2010.

World Trade Organisation

World Trade Report 2008. Trade in a Globalizing World, Genf 2008.

World Trade Organisation

International Trade Statistics 2009, Genf 2009.

Zimmer, Wiebke, Uwe Fritsche

Klimaschutz und Straßenverkehr. Effizienzsteigerung und Biokraftstoffe und deren Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen, Kurzstudie für die Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn, Mai 2008.

EUROPA/INTERNATIONAL**ASFE (Alliance for Synthetic Fuels in Europe)**

www.synthetic-fuels.org

CEN – Europäisches Komitee für Normung

www.cen.eu/cenorm

CONCAWE (The oil companies European association for environment, health, safety in refining and distribution)

www.concawe.de

European Conference of Transport Research Institutes

www.ectri.org

European Association for Forwarding, Transport, Logistic and Customs Services (CLECAT)

www.clecat.org

European Automobile Manufacturers Association (ACEA)

www.acea.be

European Council for Automotive R&D (EURCAR)

www.eucar.be

European Petroleum Industry Association (Europia)

www.europia.be

Europäische Kommission – Generaldirektion Mobility & Transport

http://ec.europa.eu/transport

International Energy Agency (IEA)

www.iea.org

International Road Transport Union (IRU)

www.iru.org

Europäische Kommission – Joint Research Center – Institute for Environment and Sustainability (IES)

http://ies.jrc.ec.europa.eu/

Low Carbon Vehicle Partnership (LowCVP)

www.lowcvp.org.uk/

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)

www.wbcd.org

DEUTSCHLAND**Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V.**

www.agqm.de

Allgemeiner Deutscher Automobil Club (ADAC)

www.adac.de

Bundesamt für Güterverkehr (BAG)

www.bag.bund.de

Bundesamt für Straßenwesen (BASt)

www.bast.bund.de

Bundesverkehrsministerium (BMVBS)

www.bmvbs.de

Bundesverband Güterkraftverkehr und Logistik (BGL)

www.bgl-ev.de

Bundesvereinigung Logistik (BVL)

www.bvl.de

Clearingstelle für Verkehrsdaten (Verkehrsprognose 2025, KiD 2002 u. a.)

http://daten.clearingstelle-verkehr.de

Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK)

www.dgmk.de

Fachausschuss für Mineralöl- und Brennstoff-Normung (FAM)

www.fam-hamburg.de/dgmk

Forschungsinformationssystem Mobilität, Verkehr und Stadtentwicklung (FIS)

www.forschungsinformationssystem.de

Handbuch Emissionsfaktoren

www.hbefa.net

Kompetenz-Netzwerk Kraftstoffe und Antriebe der Zukunft

www.energieagentur.nrw.de/kraftstoffe

Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)

www.kba.de

Mineralölwirtschaftsverband (MWV)

www.mwv.de

Renewbility, Projekt des Bundesumweltministeriums

www.renewbility.de

Statistisches Bundesamt

www.destatis.de

Umweltbundesamt

www.uba.de

Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen

www.ufop.de

Verband der Automobilindustrie

www.vda.de

Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller e.V.

www.vdik.de

Wasserstoff-Initiative

www.cleanenergypartnership.de

ERFASSUNGSMETHODIK

In Deutschland wird die Kraftfahrzeug-Statistik vom Kraftfahrt-Bundesamt in Flensburg geführt. Grundlagen sind die Datenmeldungen der Zulassungsbehörden und der Haftpflichtversicherung (Kfz mit Versicherungskennzeichen) sowie der Bestand im Zentralen Fahrzeugregister (ZFZR). Die statistischen Auswertungen umfassen alle nach der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) in Deutschland zugelassenen bzw. angemeldeten Fahrzeuge, denen ein amtliches Kennzeichen zugeteilt wird.

Die Methodik zur Erfassung des Lkw-Bestandes in Deutschland wurde in den letzten Jahren mehrfach geändert: Die Zählungen des Kfz-Bestandes werden seit dem Jahr 2001 jeweils nur noch zum Jahresbeginn mit dem 1. Januar als Stichtag durchgeführt; bis zum Jahr 1999 erfolgten sie zusätzlich jeweils zur Jahresmitte mit dem Stichtag 1. Juli.

Seit dem 1. Oktober 2005 und damit statistisch wirksam seit dem 1. Januar 2006 werden Fahrzeuge mit besonderer Zweckbestimmung (Wohnmobile, Krankenwagen, u.a.) den Pkw zugeordnet.

Auch die Stilllegungsfrist wurde unterschiedlich ausgelegt: Vor 2001 wurden Fahrzeuge, die nicht länger als 12 Monate stillgelegt waren, mit zum Bestand gezählt. Von 2001 bis 2007 zählten vorübergehende Stilllegungen, die nicht länger als 18 Monate abgemeldet waren, zum Fahrzeugbestand. Heute jedoch werden nur noch effektiv angemeldete Fahrzeuge zum Fahrzeugbestand gezählt. Diese Verschiebungen schlagen sich in den Zahlen nieder: Während der Lkw-Bestand 2001/00 und 2006/05 wuchs, wird er 2008 im Vergleich zu 2007 auf Grund der neuen Praxis um ca. 10-12 % niedriger ausgewiesen. Bei den Nutzfahrzeugen werden statt bisher 2,85 Mio. (geschätzt) nach neuer Methodik 2,51 Mio. leichte Nutzfahrzeuge, Lkw und Sattelzugmaschinen gezählt, also etwa 340 Tsd. Einheiten weniger.⁹⁷⁾

DIE WICHTIGSTEN DEFINITIONEN ⁹⁸⁾**Bestand**

Summe aller im Zentralen Fahrzeugregister gespeicherten Kraftfahrzeuge und -anhänger (ausschließlich der außer Betrieb gesetzten Fahrzeuge) zum angegebenen Zählzeitpunkt.

Neuzulassung

Erstmalige Zulassung und Registrierung eines fabrikneuen Fahrzeugs mit einem Kennzeichen in Deutschland.

Außerbetriebsetzung

Abmeldung eines Fahrzeugs (z.B. zur Verschrottung, Ausfuhr oder Nutzung auf nicht öffentlichem Gelände, z.B. Firmengelände).

Emissionsklasse

Zuordnung auf Grundlage des geltenden Typgenehmigungsrechts, dient dem Zulassungsverfahren. Zum besseren Verständnis werden, dem allgemeinen Sprachgebrauch folgend, Begriffe wie Euro 3 verwendet (siehe hierzu auch Erläuterungen zu den Emissionsklassen).

Kraftstoffverbrauch

Gem. Richtlinie 80/1268/EWG i.d.F. 93/116/EG wird der Kraftstoffverbrauch aus der Kohlendioxidemission mit folgenden Umrechnungsfaktoren berechnet.

Benzin: Faktor 23,7 (bei der Verbrennung von 1 l Benzin entstehen 2370 Gramm CO₂)

Diesel: Faktor 26,5

CNG: Faktor 17,9

LPG: Faktor 16,3

Nutzfahrzeug

Kraftfahrzeug, das aufgrund seiner Bauart zum Transport von Personen, Gütern und/oder zum Ziehen von Anhängern bestimmt ist. Personenkraftwagen und Krafträder sind ausgeschlossen.

Lastkraftwagen

Nutzfahrzeug, das nach seiner Bauart und Einrichtung zum Transport von Gütern bestimmt ist.

Zugmaschine

Nutzfahrzeug, das ausschließlich oder überwiegend zum Mitführen von Anhängern bestimmt ist.

Sattelzugmaschine

Zugmaschine, die eine besondere Vorrichtung zum Mitführen von Sattelanhängern hat, wobei ein wesentlicher Teil des Gewichtes des Sattelanhängers von der Sattelzugmaschine getragen wird.

Sonstiges Kraftfahrzeug

Unter anderem Abschlepp- und Kranwagen, selbstfahrende Arbeitsmaschinen, Bestattungswagen, Feuerwehrfahrzeuge, Geldtransporter, Kanalreinigungs- und Schlammabsaugwagen, Lkw für Fahrzeug-Beförderung, Müllwagen, Polizei- und Zivilschutzfahrzeuge, Steigleitern, Straßenreinigungsfahrzeuge, Verkaufs- und Ausstellungswagen, Werkstattwagen und bis 2005 auch Wohnmobile und Krankenwagen.

Kraftfahrzeuganhänger oder Anhängerfahrzeug

Nicht selbstfahrendes Straßenfahrzeug, das nach seiner Bauart dazu bestimmt ist, von einem Kraftfahrzeug mitgeführt zu werden.

Mehr Informationen unter: www.kba.de

⁹⁷⁾ Vgl. Ulrich Borchers, a.a.O., S. 3.

⁹⁸⁾ Zu den Fahrzeugbenennungen vgl. auch DIN 70010 Systematik der Straßenfahrzeuge.

Shell Deutschland Oil GmbH
22284 Hamburg
www.shell.de

Weitere Exemplare der Shell Lkw-Studie und der Shell Pkw-Szenarien bis 2030 zu beziehen bei:
e-mail: shellpresse@shell.com

Als Download im Internet:
www.shell.de/lkwstudie