



Foto: Copyright Andreas Hermsdorf Pixelio.de

# Perspektiven für neue Antriebe und Kraftstoffe von Nutzfahrzeugen

Straßengüterverkehr, Nutzfahrzeuge, LKW, Bus, alternative Antriebe, Kraftstoffe

Noch dominiert die Dieselsechnik die Fuhrparks. Aber Antriebe und Kraftstoffe von LKW und Bussen werden sich bis zum Jahr 2040 verändern. Welche neuen Antriebe für Nutzfahrzeuge künftig zu erwarten sind und wie sich das auf den realen Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland auswirken könnte, untersucht die neue Shell Nutzfahrzeug-Studie mit Hilfe von technischer Potenzialabschätzung, Güterverkehrsmodellierung, Trendfortschreibung der Flotte und Szenariotechnik.

Autoren: Jörg Adolf, Andreas Lischke, Gunnar Knitschky

**I**nsgesamt knapp 3 Mio. LKW und Sattelzugmaschinen sind in Deutschland aktuell registriert [1]. Die LKW-Bestandsentwicklung wird geprägt von den leichten Nutzfahrzeugen, deren Bestand sich seit Anfang der 1990er Jahre auf annähernd 2,3 Mio. Einheiten verdreifacht hat und die etwa drei Viertel des Bestandes ausmachen. Es folgen die Sattelzugmaschinen, deren Bestand sich im selben Zeitraum auf circa 200 000 Fahrzeuge mehr als verdoppelt hat. Der gesamte LKW-Bestand ist

im Durchschnitt 7,7 Jahre alt, wobei Sattelzugmaschinen mit 4,4 Jahren das jüngste Fahrzeugsegment stellen und Nahverkehrs- bzw. Verteiler-LKW überdurchschnittlich alt sind [2].

Bei den Antrieben ist Dieselsechnik mit einem Bestandsanteil von 95 % über alle LKW der Standardantrieb. Der wichtigste alternative Antrieb ist der Benziner mit einem Bestandsanteil von gut 4 %. Grundsätzlich gilt: Je schwerer der LKW, desto seltener der Einsatz eines alternativen An-

triebs (Bild 1). Die alternativen Antriebe konzentrieren sich auf die Klasse der leichten Nutzfahrzeuge und hier vor allem auf PKW-ähnliche Fahrzeuge. Aber auch bei den Kleintransportern bis 1 t Nutzlast liegt der Bestandsanteil alternativer Antriebe heute (2015) bei nur 1,8 %. Schwere LKW und Sattelzugmaschinen werden sogar zu über 99 % von Dieselmotoren angetrieben [3].

Von den in Deutschland zugelassenen 77 000 Bussen besitzen 97 % einen Diesel-

antrieb. Der Anteil alternativer Antriebe lag im Jahr 2015 bei 2,8% und damit fast doppelt so hoch wie im deutschen PKW-Bestand und noch deutlich höher als bei vergleichbar schweren LKW. Wichtigste Antriebsalternative mit einem Bestandsanteil von gut 2% ist Erdgas bei Bussen [3].

Doch wie kann diese Entwicklung bei Nutzfahrzeugen vor dem Hintergrund immer anspruchsvoller werdender Einsparziele bei Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen weitergehen?

**Antriebe und Kraftstoffe**

Wie sich Antriebe, Kraftstoffe und Fahrzeugtechnik von Nutzfahrzeugen künftig verändern, wurde im Rahmen einer Potenzialabschätzung neuer Technologien abgeschätzt [4]. Hierzu wurden die drei Antriebs-Kraftstoff-Kombinationen Diesel, Gas und Elektro und deren Effizienzpotenziale bis zum Jahr 2040 betrachtet. Dabei sind die Antriebs-Kraftstoff-Kombinationen anhand einschlägiger Auswahlkriterien für Nutzfahrzeugtechnologien in Bezug auf typische Anwendungsbereiche – insbesondere urbane vs. überregionale Einsatzbereiche – bewertet worden. Otto-Fahrzeuge und Benzin wurden nicht gesondert untersucht; zum einen werden Benzin im Nutzfahrzeugbe-

stand immer unbedeutender; zum anderen unterscheiden sich Benzin nicht wesentlich vom Diesel.

Zu den Bewertungskriterien der Technologie-Potenzialabschätzung gehören die technologische Reife, die anhand der NASA-Technology Readiness Levels (TRL) 6 (Prototyp) bis 9 (Standardprodukt) eingestuft wird [5], die Fahrzeugnutzernkosten, die Verfügbarkeit von Energie bzw. Kraftstoff, weitere Nutzerpräferenzen (z. B. Ladekapazität, Motorleistung, Service) sowie die Emissionsbilanz. In der Analyse werden die Einsatzbereiche der Fahrzeuge zwischen urbanen Fahrprofilen mit vielen Start-Stopp-Vorgängen und kürzeren Strecken sowie überregionalen bzw. Langstreckeneinsatz mit kontinuierlichem Fahrzeugbetrieb und höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten unterschieden.

**Diesel:** Im Nutzfahrzeugbereich ist der Dieselantrieb technisch und wirtschaftlich die Referenz für alle anderen Antriebe. Weitere substantielle Effizienzpotenziale werden in folgenden Bereichen gesehen: Verbesserung der Wirkungsgrade von Motor und Getriebe, Abwärmenutzung, Elektrifizierung von Nebenaggregaten sowie (milde) Hybridisierung; letztere allerdings vor allem für Fahrzeuge im urbanen Einsatz.

Dieselmotoren sind ein Energiespeicher mit hoher Energiedichte, einfacher Handhabung und der höchsten Verfügbarkeit. Bezogen auf die technologische Reife, Nutzerkosten, Verfügbarkeit und Nutzerpräferenzen ist Diesel von allen Kraftstoffen die am weitesten entwickelte Option. Nachteile zeigt die Dieselmotortechnik dagegen bei den Emissionen, vor allem in urbanen Einsatzbereichen. Die Emissionsproblematik könnte jedoch durch alternative flüssige Kraftstoffe – wie biogene, paraffinische oder langfristig Power-to-Liquids-Kraftstoffe – zumindest teilweise verbessert werden.

**Erdgas:** Zu einer relevanten Antriebs- und Kraftstoffalternative für Nutzfahrzeuge haben sich in letzter Zeit Erdgasantriebe entwickelt. Erdgas verbrennt sauberer mit weniger Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Mit Erdgas betriebene Ottomotoren sind zudem leiser als Dieselmotoren. Schon länger werden leichte Nutzfahrzeuge und LKW in Kombination mit komprimiertem Erdgas (CNG) angeboten. Im Gefolge des globalen Erdgasbooms hat sich – insbesondere in Nordamerika – die Verwendung von verflüssigtem Erdgas (LNG) als weitere Option herauskristallisiert [6]. Noch beschränkt sich das Angebot in Europa jedoch auf CNG-betriebene Ottomotorfahrzeuge [7].

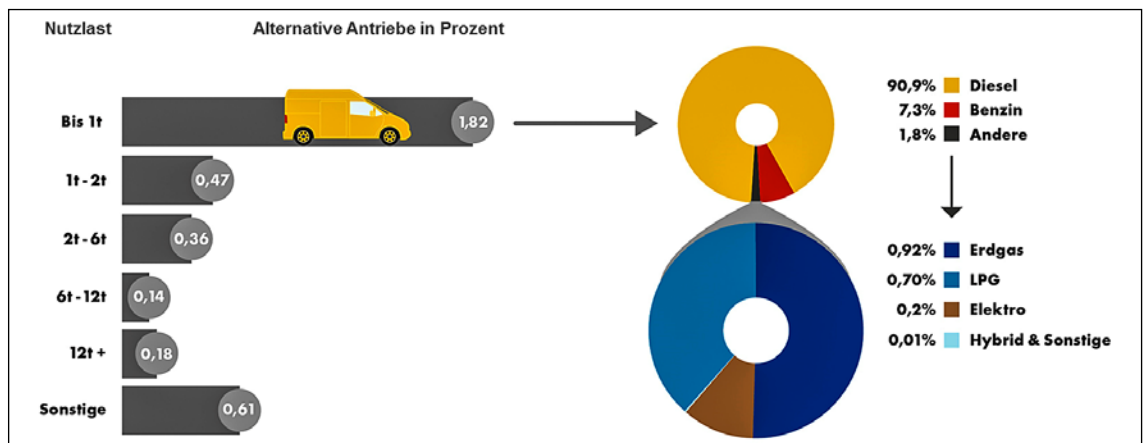


Bild 1: Alternative Antriebe im LKW-Bestand (2015) Quelle: [3]

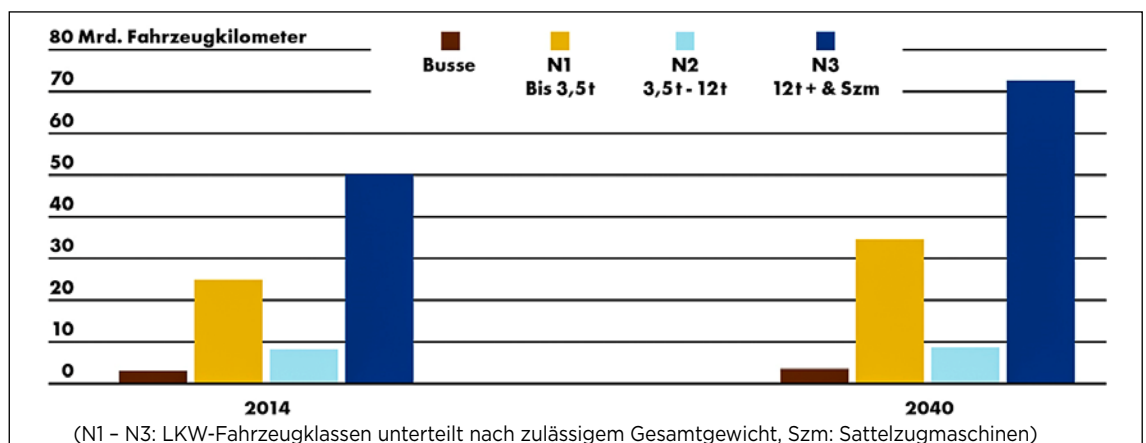


Bild 2: Inlandsfahrleistungen von Nutzfahrzeugen (eigene Modellrechnungen)

LNG kommt bezüglich der Energiedichte dem Diesel nahe [8]. Bislang gibt es fast ausschließlich CNG-Tankstellen in Deutschland. Eine LNG-Infrastruktur müsste noch aufgebaut werden. Für die Versorgung des Straßengüterfernverkehrs würden jedoch bereits wenige LNG-Tankstellen entlang des Fernstraßennetzes ausreichen. LNG und auch CNG können biogene oder strombasierte Gaskraftstoffe (Power-to-Gas) beigemischt werden. Verbrennungsmotoren für Erdgas sind bereits als Antrieb in Serienfahrzeugen verfügbar. Eine Herausforderung ist jedoch, die Effizienz der Erdgasantriebstechnik zu verbessern, sodass sich der Abstand zum Wirkungsgrad von Dieselantrieben deutlich verringert.

**Elektro:** Ähnlich wie bei PKW wird auch bei Nutzfahrzeugen an Konzepten gearbeitet, diese zu hybridisieren oder zu elektrifizieren. Von Elektromobilität kann gesprochen werden, wenn der alleinige oder Hauptantrieb elektrisch ist. Darunter fallen im Besonderen Plug-in-Hybride (PHEV), batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) und mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV).

Die größten Potenziale für Elektromobilität werden bei PKW-ähnlichen leichten Nutzfahrzeugen sowie Fahrzeugen mit urbanen Fahrprofilen – wie Kleintransportern, Nahverkehrs-LKW oder Stadtbussen – gesehen. Bei schweren Nutzfahrzeugen mit hohen Fahrleistungen gibt es aktuell keine kommerziellen Ansätze, diese zu elektrifizieren.

Zentrales Element für Elektromobilität im Nutzfahrzeugbereich sind die Akkumulatoren sowie für Brennstoffzellenfahrzeuge die Brennstoffzelle. Kritisch für Nutzfahrzeuganwendungen ist die geringe Energiedichte von in Akkumulatoren gespeicherter Energie: Die gravimetrische Energiedichte liegt zurzeit bei 0,3 bis 0,9 Megajoule pro Kilogramm (MJ/kg); die volumetrische Energiedichte bei 0,5 bis 2,4 Megajoule pro Liter

(MJ/l) [9]. Die Energieeffizienz des Elektroantriebs ist etwa doppelt so groß wie die des Diesels. Somit kann die Zunahme von elektrischen Nutzfahrzeugen insgesamt zu einer höheren Energieeffizienz beitragen.

Teilweise könnte das Problem der geringen elektrischen Energiedichte durch flächendeckende, leistungsfähige Schnellademöglichkeiten und/oder Brennstoffzellen zur Reichweitenerhöhung in Verbindung mit einer Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur gelöst werden. Einzig Elektrofahrzeuge (BEV, FCEV) ermöglichen lokal emissionsfreie Mobilität. Da sowohl Fahrstrom als auch Wasserstoff Sekundärenergieträger sind, kommt es hinsichtlich der Nachhaltigkeit jedoch auf die Art und Weise der Bereitstellung an.

Neben Antriebstechnik und Kraftstoffen lassen sich Energieverbrauch und Emissionen von Nutzfahrzeugen durch Verbesserungen der nicht antriebsstrangbezogenen Fahrzeugtechnik erreichen. Hauptansatzpunkt hier ist die Reduzierung des Fahrwiderstands, der sich im Wesentlichen aus Luft-, Roll-, Beschleunigungs- und Steigungswiderstand zusammensetzt. Zusätzliche Effizienzpotenziale lassen sich schließlich aus der optimierten Fahrweise und Disposition von Nutzfahrzeugen erzielen.

**Nutzfahrzeugszenarien**

Mit Hilfe von Szenariotechnik werden mögliche Entwicklungen der Zukunft von Antriebstechniken, Kraftstoffen, Energiebedarf und Treibhausgasemissionen für Nutzfahrzeuge in Deutschland bis in das Jahr 2040 untersucht. Ein Trend- und ein Alternativszenario beschreiben, wie sich Nutzfahrzeugantriebe und Kraftstoffe der Zukunft entwickeln.

Ausgangspunkt beider Szenarien ist die weitere Entwicklung der Fahrleistungen von Nutzfahrzeugen und deren Entwicklung bezogen auf Effizienz und Kraftstoffe. So steigen die Fahrzeugfahrleistungen für LKW um 39 % oder von gut 83 Mrd. auf knapp 116

Mrd. Fahrzeugkilometer, basierend auf einer eigenen Modellierung, die sich auf die in der Verkehrsprognose des Bundes für 2030 enthaltenen Annahmen stützt [10]. Das höchste Fahrleistungswachstum weisen Fernverkehrs-LKW auf, darunter immer mehr gebietsfremde LKW sowie die immer zahlreicheren leichten Nutzfahrzeuge; die Busfahrleistungen wachsen von heute 3,1 auf 3,5 Mrd. Fahrzeugkilometer 2040 (Bild 2).

Der Antriebsmix wird geprägt von den Neuzulassungen. Über alle Nutzfahrzeugklassen legt die Zahl der jährlichen Neuzulassungen in der Trendfortschreibung von heute rund 290 000 auf 344 000 bis 2040 zu. Am stärksten steigen die Neuzulassungen und der Bestand bei leichten Nutzfahrzeugen. Der Nutzfahrzeugbestand in Deutschland wächst von 2014 bis 2040 um über 20 % von 2,9 auf nahezu 3,5 Mio. Fahrzeuge.

Im Trendszenario werden die wichtigsten Entwicklungen der jüngeren Vergangenheit fortgeschrieben; hier bleiben der effiziente verbesserte Dieselantrieb und flüssige Kraftstoffe die mit Abstand wirtschaftlichste Option für fast alle Nutzfahrzeuge. Im Alternativszenario hingegen setzen sich neue Antriebs- und Fahrzeugtechnologien und Kraftstoffe, insbesondere elektrische sowie Gasantriebe und -kraftstoffe, beschleunigt im Markt durch.

Im Trendszenario erreichen alternative Antriebe (PHEV, BEV) bis 2040 somit lediglich bei leichten Nutzfahrzeugen substanzielle Marktanteile von gut einem Fünftel sowie bei Bussen rund 15%. Im Gegensatz dazu überwiegen im Alternativszenario alternative Antriebe – elektrisch (PHEV, BEV, FCEV) bei leichten Nutzfahrzeugen und Bussen sowie Gas (LNG) bei schweren Fernverkehrs-LKW – die Dieselseuzulassungen im Jahre 2040 in fast allen Fahrzeugklassen.

Im LKW-Bestand des Trendszenarios bleiben alternative Antriebe eher die Ausnahme – mit nennenswerten Anteilen lediglich bei leichten Nutzfahrzeugen (17%) und Bussen (9%). Im Alternativszenario kommt

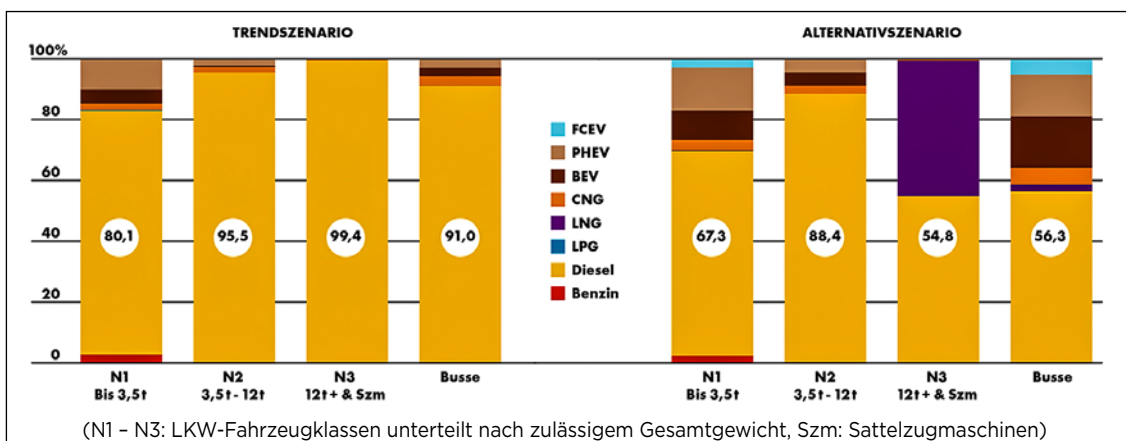


Bild 3: Antriebsmix Nutzfahrzeugbestand in 2040 nach Szenarien

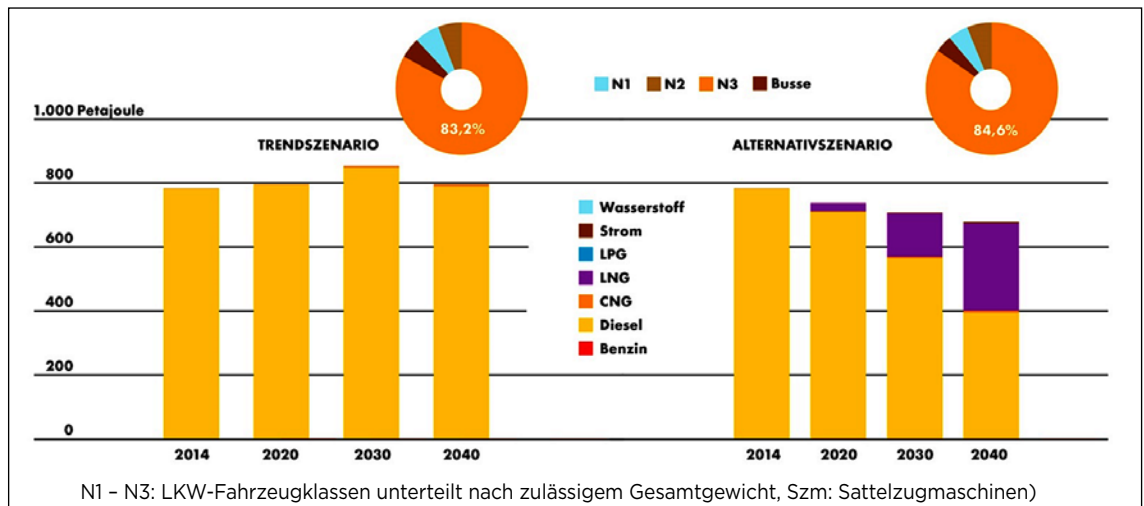


Bild 4: Energiebedarf für Nutzfahrzeuge nach Szenarien

es in praktisch allen Fahrzeugklassen zu einem deutlich veränderten Antriebsmix: rund ein Drittel der leichten Nutzfahrzeuge fahren hier elektrisch, 45 % der schweren LKW mit LNG sowie ein Drittel der Busse elektrisch. Aufgrund des hohen Neuzulassungsanteils modernisiert sich der Bestand von Fernverkehrs-LKW und Fernbussen am schnellsten; wegen ihres hohen Durchschnittsalters verändert sich der Bestand an Nahverkehrs- und Verteiler-LKW sowie zu großen Teilen der leichten Nutzfahrzeuge am langsamsten (Bild 3).

Der Energiebedarf aller Nutzfahrzeuge – berechnet anhand durchschnittlicher Kraftstoffverbräuche und der jeweiligen Fahrzeugfahrleistungen – steigt im Trendszenario von heute 783 Petajoule (PJ) auf 853 PJ 2030 und fällt 2040 auf 786 PJ zurück. Im Alternativszenario sinkt der Energiebedarf kontinuierlich bis 2040 um 13% auf 682 PJ, und zwar trotz gleichzeitig um 39% steigender Fahrleistungen.

Im Trendszenario bleibt Dieselmotorkraftstoff mit einem Anteil von über 99% oder 22 Mrd. Litern der nahezu einzig relevante Energieträger; im Alternativszenario halbiert sich der Dieselbedarf fast, vor allem zu Gunsten von Gaskraftstoffen (LNG) sowie zu geringen Teilen Strom. Schwere LKW verbrauchen mit Abstand die meiste Energie – ihr Anteil am Energiebedarf aller Nutzfahrzeuge legt von heute 79% auf 83% (Trend) und 85% (Alternativ) im Jahr 2040 zu (Bild 4).

**Fazit**

Die deutschen Energiewende-Ziele sehen vor, dass der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors von 2005 bis 2050 um 40% sinkt – mit einem Zwischenziel von minus 10% bis 2020. Tatsächlich fällt der Endenergieverbrauch von LKW und Bussen selbst im Alternativszenario bis 2040 kaum unter

das Niveau von 2005. Daher dürfte das 2050er-Energieziel des Verkehrssektors für LKW und Busse allein kaum zu erreichen sein. Ursache hierfür ist, dass Fahrzeugsegmente, in denen neue energiesparende Antriebstechniken eingeführt werden könnten, nur geringe Fahrleistungen pro Fahrzeug erreichen – und das bei gleichzeitig geringen Durchschnittsverbräuchen.

Darüber hinaus gibt es ein sektorübergreifendes Treibhausgasemissionsziel – mit Zwischenziel bis 2040. Danach sollen die direkten Treibhausgasemissionen von 1990 bis 2050 um mindestens 80% zurückgehen – und bis 2040 um 70%. Heute verursachen LKW und Busse etwa 5,6% der verbrennungsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland; das ist etwa knapp die Hälfte der CO<sub>2</sub>-Emissionen des motorisierten Individualverkehrs.

Im Trendszenario steigen die gesamten Well-to-Wheel-Emissionen von heute 71 Mio. t bis 2030 leicht an und sinken bis 2040 allmählich auf gut 64 Mio. t; diese Minderung von knapp 10% wird in erster Linie durch CO<sub>2</sub>-ärmere Biokraftstoffe erreicht. Im Alternativszenario gehen die Well-to-Wheel-Emissionen auf 55,4 Mio. t CO<sub>2</sub> zurück. Ursache dieses Rückgangs von über 20% sind der rückläufige Energiebedarf, die stärkere Nutzung von Gaskraftstoffen sowie zu geringen Teilen Elektromobilität.

Damit werden die 1990er Nutzfahrzeug-CO<sub>2</sub>-Emissionen im Trend- wie im Alternativszenario 2040 noch deutlich überschritten, sodass von LKW und Bus nur ein unterdurchschnittlicher Beitrag zum nationalen Klimaziel zu erwarten ist. ■

**LITERATUR:**

[1] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken, 1. Januar 2015, FZ 1, Flensburg 2016.

- [2] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter, 1. Januar 2015, FZ 15, Flensburg 2015.
- [3] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Fahrzeugzulassungen (FZ). Bestand an Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen, 1. Januar 2015, FZ 13, Flensburg 2015.
- [4] Shell, Shell Nutzfahrzeug-Studie. Diesel oder alternative Antriebe – Womit fahren LKW und Busse morgen? Hamburg 2016.
- [5] Department of Defence, United States of America (DOD), Technology Readiness Assessment (TRA). Guidance, Washington 2011.
- [6] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH (ifeu), Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST), Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH (DBFZ), LNG als Alternativkraftstoff für den Antrieb von Schiffen und schweren Nutzfahrzeugen, Berlin u.a.O. 2014.
- [7] European Commission, DG Move (EC-COM/DGM), LNG Blue Corridors. Trucks Euro V Technical Solutions, Brussels 2014.
- [8] European Commission, DG Move (EC-COM/DGM), LNG Blue Corridors. Gas Quality, Brussels 2014.
- [9] Verband der Elektrotechnik (VDE), Kompendium: Li-Ionen-Batterien. Grundlagen, Bewertungskriterien, Gesetze und Normen, Frankfurt/Main 2015.
- [10] Beratergruppe Verkehr+Umwelt (BVU), Intraplan Consult GmbH (ITP), Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG, Planco Consulting GmbH, Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Schlussbericht, Freiburg u.a.O. 2014.



**Jörg Adolf, Dr.**  
 Chefvolkswirt Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg  
 joerg.adolf@shell.de



**Andreas Lischke, Dipl.-Ing.**  
 Gruppenleiter, DLR, Institut für Verkehrsforschung, Abt. Wirtschaftsverkehr, Berlin  
 andreas.lischke@dlr.de



**Gunnar Knitschky, Dipl.-Volksw.**  
 Wissenschaftlicher Mitarbeiter, DLR, Institut für Verkehrsforschung, Abt. Wirtschaftsverkehr, Berlin  
 gunnar.knitschky@dlr.de