Nationales Forum Diesel

Bericht der Expertengruppe IV – Optimierung von Antriebstechnologien und alternative Kraftstoffe

12. Dezember 2017

Inhalt

I. Zur Arbeit der Expertengruppe 2

II. Ausgangslage 4

III. Potenziale zur Emissionsminderung 11

A. Optimierung von Antriebstechnologien 12

B. Alternative Kraftstoffe 21

C. Gesamtbetrachtung 25

IV. Grundsätze und Handlungsoptionen für einen erfolgreichen Strukturwandel 36

A. Grundsätze 36

B. Handlungsfelder und Maßnahmenoptionen 37

Anhang A: Stellungnahme des BUND 47

Anhang B: Mitglieder der Experten AG IV 50

Anhang C: Tagesordnungen der Experten AG IV 51

Anhang D: Quellenangaben 55

I. Zur Arbeit der Expertengruppe

Die Expertengruppe IV ist Teil der im Rahmen des Nationalen Forums Diesel am 2. August 2017 gegründeten Arbeitsgruppen (vgl. Teilnehmerliste und Tagesordnungen der AG-Sitzungen im Anhang).

Während der Fokus der ersten drei Expertengruppen auf den bestehenden und den öffentlichen Fahrzeugflotten (I und III) sowie auf verkehrsplanerischen Potenzialen und der Anwendung digitaler Innovationen im Straßenverkehr (II) liegt, befasst sich die Expertengruppe IV auftragsgemäß mit der Optimierung von Antriebstechnologien sowie den Potenzialen alternativer Kraftstoffe. Insofern liegt das Augenmerk auf dem gesamten Neuwagenmarkt der näheren und ferneren Zukunft und den damit verbundenen notwendigen Innovationen.

Ziel der Expertengruppe ist es, bestehende Potenziale für die Weiterentwicklung konventioneller Antriebe und die Nutzung alternativer Kraftstoffe während der Transformationsphase sowie Wege für den Übergang in eine möglichst emissionsfreie Mobilität der Zukunft aufzuzeigen. Hierbei sollen insbesondere Potenziale für technologische Innovationen identifiziert und entsprechende Vorschläge zur Ausrichtung der Transformations- und Innovationsförderung unterbreitet werden.

Während der Arbeitsschwerpunkt der anderen Expertengruppen auf der Identifikation kurzfristiger Maßnahmen zur Luftreinhaltung liegt, gilt es bei der Fortentwicklung von Antriebstechnologien und alternativen Kraftstoffen, den inhaltlichen Fokus zu erweitern und neben der NO_X-Problematik die mittel- und langfristig zentralen Herausforderungen einer klimafreundlichen Mobilität in den Blick zu nehmen.

Die künftige Vermeidung von CO_2 und anderer, die Menschen beeinträchtigender, Emissionen im Verkehrssektor ist ein wesentlicher Treiber für den bevorstehenden Strukturwandel der Automobilindustrie. Der Erhalt der industriellen Wertschöpfung in Deutschland und einer funktionalen und individualisierten Mobilität auf hohem Niveau muss dabei mit betrachtet werden.

Konkret geht es darum, den heutigen technischen Stand der unterschiedlichen Antriebsarten (Otto- und Dieselfahrzeuge, batterieelektrische und Brennstoffzellen-Mobilität sowie Gasfahrzeuge) im Hinblick auf die „doppelte Emissionsproblematik“ (Schadstoffe und CO_2) abzubilden:

- Wie sind die Antriebstechnologien hinsichtlich Kostenentwicklung, Reichweite, Einsatzbereichen einschließlich zukünftiger Entwicklungen und Zukunftspotenzialen einzuschätzen?
- Wo gilt es kurzfristig den Forschungsbedarf neu zu priorisieren?
- Welche sonstigen Maßnahmen sind zur Unterstützung und Steuerung des Strukturwandels in der Automobilindustrie zu ergreifen?

Zum Themenfeld der alternativen Kraftstoffe (wie z. B. Erdgas, Biokraftstoffe, Power-to-Gas und Power-to-Liquid) sind folgende Fragen von besonderem Interesse:

- Wo liegen die kurzfristigen Potenziale zum Einsatz alternativer Kraftstoffe, auch in den Bestandsflotten?
- Wie stellt sich die aktuelle Marktsituation bei alternativen Kraftstoffen und die mittelfristig zu erwartende Kostensituation dar?
- Wie kann auch hier der Forschungsbedarf auf Basis aktueller Informationen neu ausgerichtet werden?

Bei all diesen Fragen ist klar: Deutschland soll auch künftig Autoland Nr. 1 bleiben. Damit das gelingt, müssen heute wichtige Weichenstellungen zur Sicherung dieser Schlüsselindustrie vorgenommen werden. Kurzfristig bedarf es spürbarer Fortschritte lokale Schadstoffemissionen zu reduzieren und bestehende Grenzwerte einzuhalten. Zur Vermeidung lokaler Fahrverbote bedarf es anderer, kurzfristig wirksamer Maßnahmen, die nicht Gegenstand der Beratungen dieser Expertengruppe waren.

Im Sinne einer nachhaltigen Politik sieht die Expertengruppe trotz der Dringlichkeit der aktuellen Schadstoff-Problematik ihren Auftrag darin, vor allem solche Handlungsoptionen auszusprechen, die auch aus einer mittel- und langfristigen Perspektive als tragfähig und zielführend eingestuft werden.

Dementsprechend enthält der vorliegende Bericht eine Reihe von Maßnahmenoptionen. Für das weitere Vorgehen ist vorgesehen, diese Vorschläge der Expertengruppe in die weitere Arbeit des Nationalen Forums Diesel einzubringen.

In die Handlungsempfehlungen eingeflossen ist die Expertise eines breiten Teilnehmerkreises, bestehend aus Vertretern aus Forschung und Hochschulen, Verbänden, gesellschaftlichen Gruppen sowie Bundesländern (Liste der Mitglieder im Anhang). Insgesamt haben drei Sitzungen der Expertengruppe stattgefunden.

II. Ausgangslage

Die Automobilindustrie in Deutschland, aber auch weltweit, steht vor einer Zeitenwende. Schon seit einiger Zeit befindet sich die Branche angesichts der Ziele eines schadstoffärmeren, klimaneutralen und zunehmend automatisierten (Individual)-Verkehrs im Wandel.

Spätestens seit diesem Jahr ist jedoch evident, dass die Zeit für eine breitere Nutzung neuer Antriebsformen, allen voran der Elektromobilität, gekommen ist.

Neue Wettbewerber, die Ankündigung erheblicher Zukunftsinvestitionen in neue Antriebsformen sowie eine ambitionierte umwelt- und klimapolitische Regulierung prägten das Automobiljahr 2017. Wesentlich ist auch die Ankündigung der chinesischen Regierung, eine verbindliche Elektroautoquote von 10 Prozent in 2019 und 12 Prozent in 2020 einzuführen, wie auch die Ankündigungen verschiedener europäischen Staaten oder Metropolregionen zwischen 2025 und 2040 auf die Zulassung von Diesel- oder sogar grundsätzlich Verbrennungsmotoren verzichten zu wollen.

Durch den „Dieselskandal“ und die damit einhergehende, politische Zuspitzung der Debatte um die Belastung durch Luftschadstoffe steht die Automobilindustrie in Deutschland ebenso im Fokus wie die Frage nach der Mobilität der Zukunft.

In der öffentlichen Diskussion werden die genannten Treiber der technischen Entwicklung von Fahrzeugen bzw. die zugrunde liegenden Ursachen für den Wandel der Automobilindustrie (Automatisierung, Digitalisierung, Luftqualität, Klimaschutz) häufig gleichzeitig thematisiert, was angesichts der zahlreichen Anknüpfungspunkte und Wechselwirkungen auch notwendig ist.

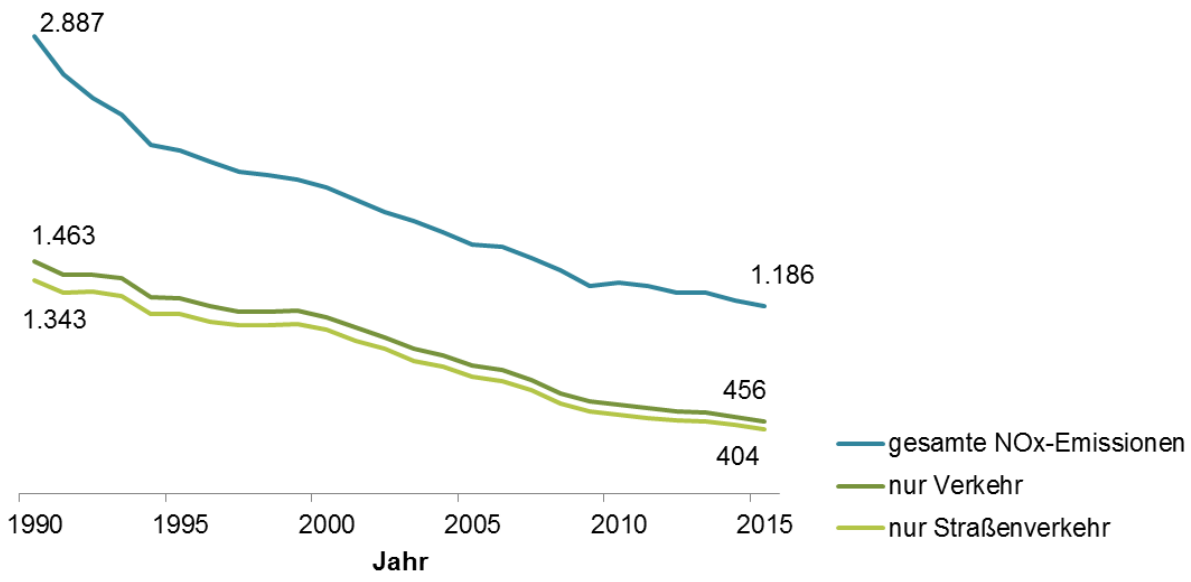
Allerdings unterbleibt dabei vielfach eine systematische Unterscheidung der einzelnen Problemkreise und Ziele, insbesondere mit Blick auf die beiden für die aktuelle Diskussion zentralen Emissionen – NO_X und CO_2.

a) Zur Einordnung der NO_X-Problematik

Gegenüber dem Vergleichsjahr 1990 sind die Emissionen von Feinstaub und anderer Luftschadstoffe stark zurückgegangen. Die gesamten NO_X-Emissionen sanken zwischen 1990 und 2015 um 59 Prozent auf zuletzt 1186 kt. Im (Straßen-)Verkehr konnten die Emissionen um 69 Prozent (70 Prozent) auf zuletzt 456 kt (404 kt)

reduziert werden. Damit war der Verkehr zuletzt für knapp 40 Prozent der NO_X-Emissionen verantwortlich (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: NO_X-Emissionen in Deutschland in kt

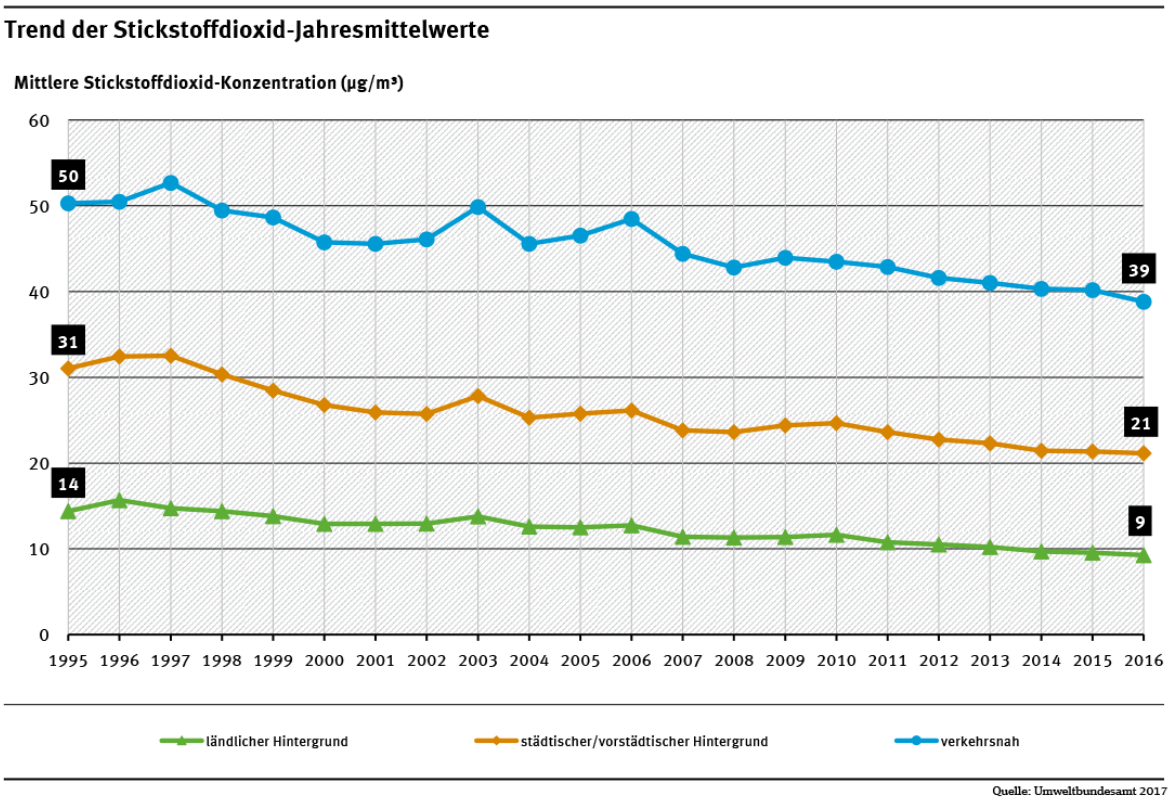


Quelle: Umweltbundesamt

Trotz der deutlichen Fortschritte, die Modellrechnungen für die aggregierten Emissionen aufzeigen, sind die gemessenen Immissionswerte in den vergangenen Jahren nur langsam zurückgegangen (vgl. Abbildung 2). An zahlreichen verkehrsnahen Messstationen liegen die Werte für NO_2 noch über dem seit 2010 einzuhaltenden Grenzwert von 40 Mikrogramm NO_2 pro Kubikmeter Außenluft im Jahresmittel. Im Mittel aller verkehrsnahen Messstationen wurde erst im Jahr 2016 der Grenzwert unterschritten.

Im Jahr 2016 wurde in 89 Städten der gesetzliche Grenzwert zum Teil deutlich überschritten. Die Messungen im städtischen und ländlichen Bereich weisen deutlich geringere Werte aus. Insgesamt fiel der Fortschritt bei der NO_X-Reduktion langsamer aus als erwünscht.

Abbildung 2: Durchschnittliche NO_2-Immisionsbelastung in Deutschland



Quelle: Umweltbundesamt

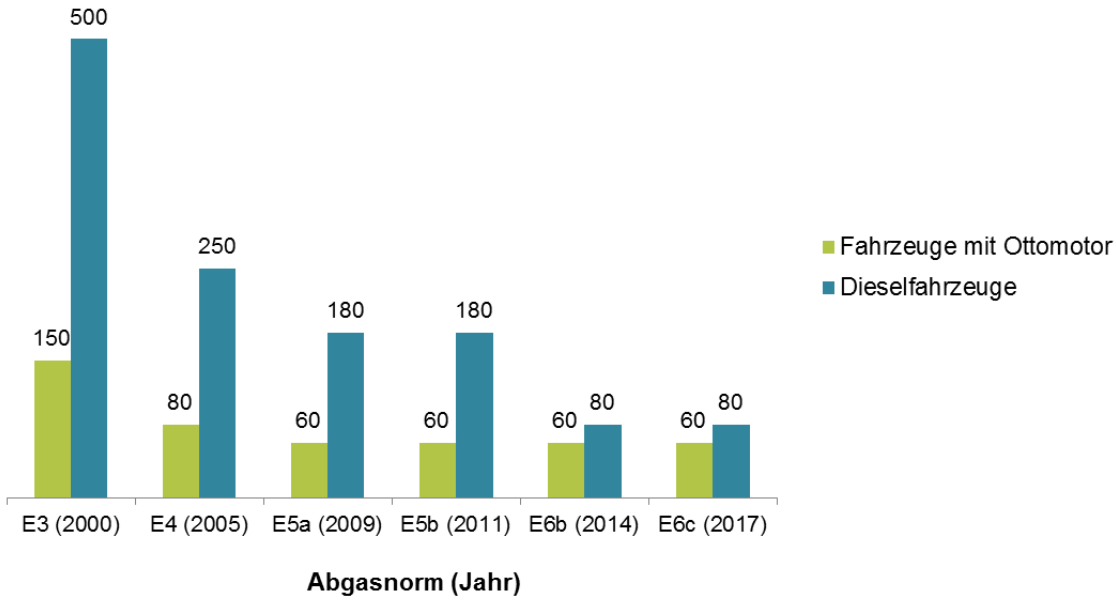
Ursächlich für den nur moderaten Rückgang der Immissionsbelastung ist neben dem steigenden Anteil von Dieselfahrzeugen und dem Anstieg des Verkehrsaufkommens insgesamt auch die in den vergangenen Jahren zunehmende Diskrepanz zwischen den bis September 2017 nur im Labor-Testzyklus nachzuweisenden Fahrzeugemissionen und den realen Werten auf der Straße (Real Drive Emissions).

So wurden die im Testzyklus vorgegebenen Emissionsgrenzen der jeweiligen Abgasnormen (vgl. Abbildung 3) im Fall von Dieselmotoren im Realbetrieb bei den meisten Fahrzeugen der Abgasnorm Euro 5 und Euro 6, teils um ein Vielfaches, überschritten.

Die Emissionsregulierung einerseits und der Immissionsschutzgesetzgebung andererseits müssen in Zukunft noch besser aufeinander abgestimmt werden. Klar ist jedoch: Die NO_X-Abgaswerte für Dieselbestandsfahrzeuge ohne NO_X-Abgasnachbehandlungssysteme wie SCR und NSK sind eine Herausforderung vor allem in den belasteten Innenstädten. Modernste Dieselfahrzeuge haben mit der Einhaltung der RDE-Anforderungen sowie mit Softwareupdates das NO_X-Emissionsproblem

weitestgehend entschärft. Bis diese allerdings bundesweit relevante Marktanteile erreichen, wird es noch Jahre dauern, da erst jetzt die ersten Modelle Euro 6d auf den Markt kommen.

Abbildung 3: NO_X-Emissions-Grenzwerte in mg/km



Aktuell befinden sich rund 15 Mio. Dieselfahrzeuge im deutschen Straßenverkehr. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die relative Größenordnung der Fahrzeugzahlen und die dazugehörigen Abgasnormen.

Tabelle 1: Diesel Pkw in Deutschland (in Tausend Stück)

Schadstoffklasse	ältere	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6	Gesamt
Anzahl in T	637	1.595	4.199	5.924	2.674	15.031

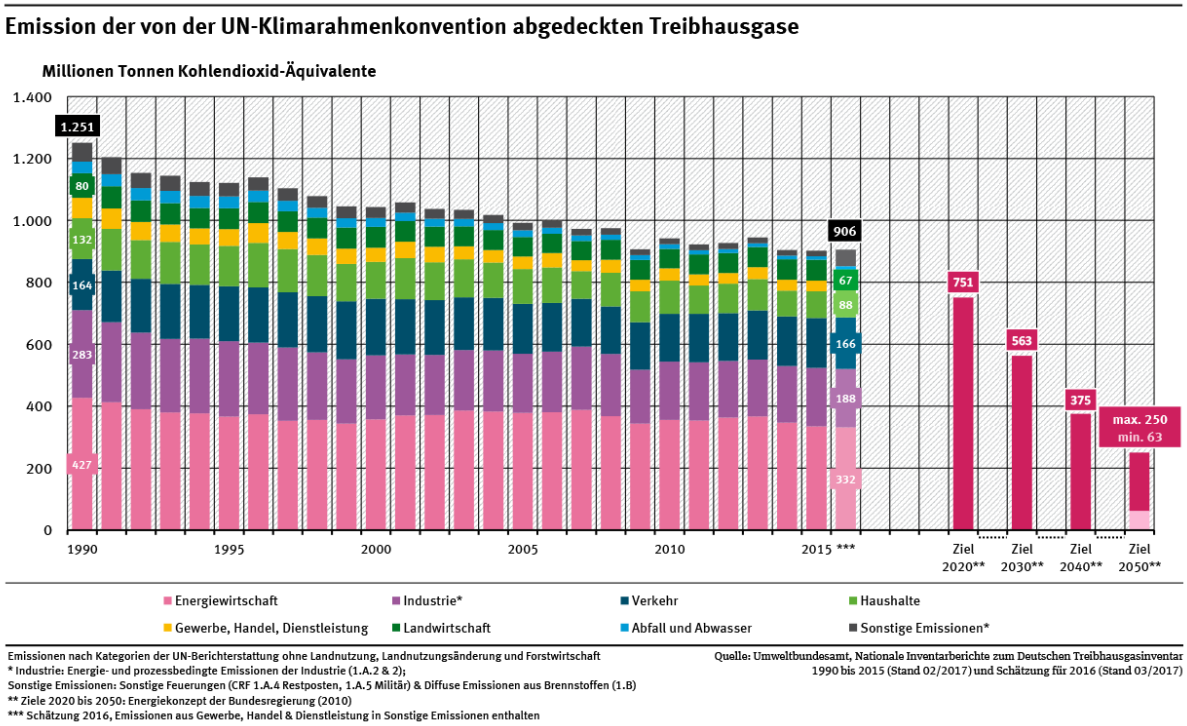
Quelle: KBA, Stand 01.01.2017

b) Reduktion der CO_2-Emissionen als zentrale Herausforderung

Die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor sind seit 1990 nicht gesunken, sondern sogar leicht angestiegen von 163 auf 166 Mio. t CO_2.

Der Klimaschutzplan der Bundesregierung sieht dagegen eine Reduktion des CO_2-Ausstoßes im Verkehr um 42 Prozent bis 2030 gegenüber 1990 vor (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Treibhausgasemissionen in Deutschland



Quelle: Umweltbundesamt

Wie ambitioniert dieses sektorale Emissionsziel ist, wird deutlich, wenn man die gegenwärtige durchschnittliche (inländische) Nutzungsdauer von Pkw von 18 Jahren (Durchschnittsalter 9,3 Jahre) berücksichtigt.

Der Anteil klimafreundlicher Neuwagen muss in den nächsten Jahren drastisch ansteigen, um bis 2030 einen entsprechend großen Effekt auf den gesamten CO_2-Ausstoß zu erhalten. Dafür ist ein möglichst zügiger Hochlauf energieeffizienter Elektromobilität (in Verbindung mit einer Erhöhung des Anteils von regenerativ gewonnenem Strom) bei gleichzeitig beschleunigtem Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung und anderer emissionsarmer Mobilitätsformen bzw. Kraftstoffe erforderlich.

Aus Sicht der Automobilwirtschaft mindestens ebenso relevant wie die im Klimaschutzplan festgeschriebenen Reduktionsziele, ist die EU-CO_2-Flottenregulierung. Auch der Grenzwert für den Flottenverbrauch von 95 g CO_2/km bei Neuwagen dürfte bis 2021 – nicht zuletzt aufgrund des durch den Dieselskandal ausgelösten Trends zu Ottomotoren – kaum von allen Herstellern eingehalten werden.

c) Zur Zukunftsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie

Die Automobilindustrie ist mit einem Anteil von ca. 13 Prozent die größte Branche des Verarbeitenden Gewerbes und gemessen am Umsatz der mit Abstand bedeutendste Industriezweig in Deutschland. Im Jahr 2016 erwirtschafteten die Unternehmen der Branche einen Umsatz von über 400 Mrd. Euro (Inland: 148,3 Mrd. Euro, Ausland 256,3 Mrd. Euro) und beschäftigen direkt über 800.000 Personen in Deutschland in mehr als 1.300 Fertigungsstätten.

Von den Beschäftigten waren zuletzt mehr als drei Viertel direkt von der Produktion von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren abhängig (davon etwa 163.000 Arbeitsplätze in der Zuliefererindustrie). Die Automobilindustrie insgesamt und der Verbrennungsmotor haben somit große Bedeutung für Wohlstand und Beschäftigung in Deutschland.

Die Vorfälle im Rahmen des sogenannten „Diesel-Skandals“ sowie die generelle Diskrepanz von in vorgegebenen Testzyklen gemessenen und realen Emissionen im Straßenverkehr haben zu einer tiefen Vertrauenskrise im Hinblick auf den Dieselmotor und die verursachenden Hersteller geführt.

Laut Angaben des VDA werden aktuell jährlich ca. 1,8 Mio. Dieselmotoren in Deutschland hergestellt. Um die Produktion von ca. 2,6 Mio. Diesel-Pkw zu ermöglichen, werden Motoren an ausländischen Standorten der deutschen OEMs produziert und nach Deutschland importiert (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Pkw-Motorenproduktion in Deutschland 2016 in Millionen

Pkw insgesamt (deutsche OEMs weltweit)	15,1
Pkw (deutsche OEMs Inland)	5,7
Pkw (deutsche OEMs Ausland)	9,4
Pkw mit Dieselmotoren (Inlandsproduktion)	2,6
Pkw mit Dieselmotoren (Export)	1,8
Dieselmotoren-Produktion (Inland)	1,8

Quelle: VDA

Im ersten Halbjahr 2017 nahm der Anteil der verkauften Dieselfahrzeuge am gesamten Absatz gegenüber dem Vorjahreszeitraum jedoch bereits von rund 50 auf ca. 40 Prozent ab. Gleichzeitig kommen nun Neufahrzeuge der Abgasnorm Euro 6d und damit deutlich geringeren NO_X-Emissionen auf den Markt. Ferner hat der Dieselmo-

tor gegenüber dem Ottomotor Effizienzvorteile. Vor diesem Hintergrund ist die derzeit geführte Diskussion zur Zukunft des Dieselmotors nicht zielführend.

Der bevorstehende Strukturwandel in der Automobilindustrie hin zu mehr alternativen Antrieben wird sich auf die Beschäftigtenstruktur auswirken. Denn die Wertschöpfungstiefe bei alternativen Antriebstechnologien kann im Vergleich zu Dieselfahrzeugen und Fahrzeugen mit Ottomotoren erheblich abnehmen: Im Vergleich zum Verbrennungsmotor besteht der Elektromotor aus weniger Komponenten und ist insgesamt einfacher zu konzipieren. Gleiches gilt für den gesamten Antriebsstrang, bei dem ja auch Komponenten wie Getriebe, Kolben, Kühler und Abgassysteme betroffen sind.

Nach einer neuen Studie des Fraunhofer IAO wird bereits die Einhaltung der neuen Zielwerte der Kommission für 2030 (minus 30 Prozent CO_2, 30 Prozent elektrifizierte Fahrzeuge) zu einer Reduzierung der Beschäftigung im Antriebsstrang um mindestens 15 Prozent führen, selbst wenn Investitionen in die neuen Technologien am Standort erfolgen. Das Risiko wäre deutlich größer, wenn zusätzliche Technologiebrüche wie ein Aus für Dieselantriebe eintreten. Hinzu kommt die deutliche inhaltliche Verschiebung bei Tätigkeiten und Anforderungen, die massive Anstrengungen in Qualifizierung und Weiterbildung erfordern.

Bei alledem ist zu berücksichtigen, dass die Zukunft der deutschen Automobilindustrie entscheidend von der Wettbewerbsfähigkeit in den globalen Märkten, allen voran China als größtem Markt, abhängen wird. Dort ist zu beobachten, dass der batterieelektrischen Mobilität mit Hilfe von Quoten ab 2019 zum Durchbruch verholfen werden soll. Nur wenn die stark exportorientierten deutschen OEM weiter auf internationalen Märkten erfolgreich sein werden, können Wertschöpfung und Arbeitsplätze in der deutschen Automobilindustrie gesichert werden.

III. Potenziale zur Emissionsminderung

Um die beschriebenen umweltpolitischen Ziele zu erreichen, bedarf es nach Auffassung der Expertenrunde einer Vielzahl von technologischen Optionen. Nur durch die Nutzung möglichst zahlreicher Effizienz- und Einsparpotenziale kann der bevorstehende Transformationsprozess hin zu einem deutlich emissionsärmeren Straßenverkehr erfolgreich gemeistert werden.

Bei der nachfolgenden Potenzialanalyse liegt der Fokus

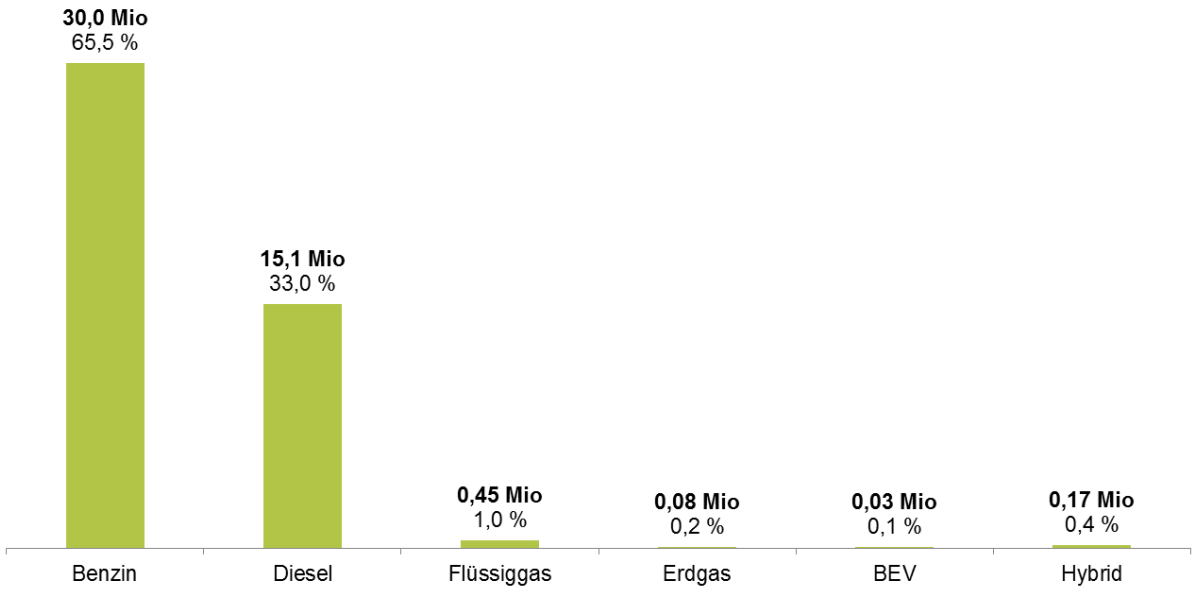
- zum einen auf der weiteren Optimierung der Antriebstechnologien (A)
- und zum anderen auf den Chancen, die mit alternativen Kraftstoffen einhergehen (B).

Da die Potenziale der Antriebstechnologien letztlich nicht unabhängig von der Art des Kraftstoffes beurteilt werden können, wird in Abschnitt (C) eine Gesamtbetrachtung der zur Verfügung stehenden Optionen und der damit einhergehenden Potenziale zur Emissionsminderung sowohl im Hinblick auf NO_X und Feinstaub als auch in Bezug auf CO_2 vorgenommen.

Da die doppelte Emissionsproblematik nicht allein durch technische Innovationen, sondern vor allem auch durch eine entsprechende Substitution von Antriebs- und Kraftstofftechnologien zu lösen sein wird, ist es zweckmäßig, sich den derzeitigen Pkw-Bestand noch einmal vor Augen zu führen (vgl. Abbildung 5).

- Zum Jahresbeginn 2017 konnten nur rund 1,6 Prozent des Pkw-Bestands der Kategorie alternativer Antriebsformen zugerechnet werden.
- Reine Elektrofahrzeuge und Hybridfahrzeuge kamen zusammengenommen noch nicht einmal auf einen Anteil von 0,5 Prozent am Fahrzeugbestand.
- Bei etwas weniger als einem Drittel der Pkw handelt es sich um Dieselfahrzeuge, wobei der Anteil in den vergangenen Jahren bis zum Beginn der kritischen Diskussion zur Zukunft des Dieselmotors stetig zugenommen hat.

Abbildung 5: Bestand an Personenkraftwagen zum 1. Januar 2017 nach ausgewählten Kraftstoffarten in Millionen



Quelle: Kraftfahrtbundesamt

A. Optimierung von Antriebstechnologien

a) Dieselmotor

Rund 40 Prozent der NO_X-Emissionen in der EU stammen aus dem Straßenverkehr. An diesen Emissionen haben Dieselfahrzeuge einen Anteil von 80 Prozent.

Im Hinblick auf den künftigen Technologiemix ist jedoch nicht allein die im derzeitigen Straßenverkehr vorherrschende Technik, sondern der technische Stand neuer Fahrzeuge entscheidend.

Für das Jahr 2018 ist mit einer zunehmenden Verfügbarkeit von Euro 6d bzw. Euro 6d-temp Fahrzeugen zu rechnen, deren NO_X-Emissionen unter realen Fahrbedingungen auf einem sehr niedrigen Niveau liegen; auch Euro 6c Fahrzeuge erfüllen diese Voraussetzung weitgehend.

Dieser Fortschritt geht im Wesentlichen auf die Einführung der Real Driving Emission (RDE) Gesetzgebung in Europa zurück, die eine bis dato vernachlässigte Weiterentwicklung der Abgasnachbehandlungssysteme erforderlich macht. Entsprechend

wurden in den vergangenen Jahren in der Entwicklung von Motoren und Abgasnachbehandlungssystemen beträchtliche Anstrengungen unternommen.

Exemplarisch sei hier auf folgende Elemente einer modernen Euro 6d-Abgasnachbehandlung verwiesen:

- Optimierte Verbrennung
- Optimierte Motorsteuerung
- Hochdruck- (HD) und Niederdruck- (ND) Abgasrückführung (AGR)
- Oxydationskatalysator (DOC)
- Partikelfilter (DPF)
- NO_X-Speicherkatalysator (NSC, LNT)
- Selective catalytic reduction (SCR) Katalysator mit aktiver AdBlue-Einspritzung

Hinsichtlich der zu hohen NO_2-Immissionen und der nach wie vor bedeutenden Absatzzahlen von Dieselfahrzeugen ist nun mitentscheidend, dass dieses technische Potenzial des „sauberen“ Diesels möglichst zügig und in möglichst vielen Modellen seine praktische Anwendung findet.

Um möglichst kurzfristige Effekte auf die NO_X-Bilanz des Pkw-Verkehrs zu erzielen, wird in der Expertengruppe I die Hardware-Nachrüstung für bestimmte Diesel-Pkw geprüft und für ÖPNV-Busse eine Förderung der nachträglichen Installation von Abgasnachbehandlungssystemen vorbereitet.

Mit Blick auf die mittlere Frist, die für die Motorenentwicklung relevant ist, stellt sich im Fall des Dieselmotors (und mehr noch beim Ottomotor) die Frage nach weiteren Potenzialen zur CO_2-Minderung. Hier sind weitere Verbesserungen des Wirkungsgrades bis 2030 zwischen 10 und 20 Prozent (gegenüber dem technischen Stand des Jahres 2010) vorstellbar.

In der Vergangenheit wurde der Erfolg bei der Verbrauchsminimierung aber durch den Trend zu schwereren und PS-stärkeren Fahrzeugen, insbesondere SUV kompensiert. Man spricht dabei vom sogenannten Rebound-Effekt.

Kasten 1: Rebound-Effekte im Verkehr

In der Vergangenheit führten Effizienzsteigerungen hinsichtlich des Kraftstoff- bzw. Energiebedarfs im Verkehr nicht zwingend zu geringeren Verbräuchen. Insbesondere im Hinblick auf CO_2 wurden die technischen Einsparpotenziale aufgrund der Fortschritte bei der Motorentechnik meist kompensiert durch die Zunahme des Verkehrs sowie durch den Trend hin zu leistungsstärkeren und schwereren Fahrzeugen. Dabei können die genannten Entwicklungen selbst z.T. auf die Effizienzsteigerungen und die damit einhergehenden kostengünstigeren Nutzungsbedingungen zurückgeführt werden. Das Phänomen, wobei der Anteil der potenziell einzusparenden Energie durch Effizienzsteigerungen nur teilweise oder gar nicht verwirklicht wird, kann als Rebound-Effekt beschrieben werden.

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Potenziale zur Emissionsreduktion basieren im Wesentlich auf der Analyse der technischen Möglichkeiten, sodass die künftige Rolle von Rebound-Effekten an dieser Stelle nicht ausführlich betrachtet wird. Gleichwohl ist zu betonen, dass die genannten umweltpolitischen Zielmarken nicht erreicht werden können, sofern die Bedeutung von Rebound-Effekten im Verkehrssektor nicht deutlich abnimmt.

b) Ottomotor

Benzinmotoren führen im Gegensatz zu Dieselmotoren zu deutlich geringeren NO_X- und Ruß-Emissionen, wobei dieser Vorzug durch die bevorstehende Verbreitung von Euro 6d normierten Dieselfahrzeugen an Bedeutung verliert.

Die Tatsache, dass Ottomotoren bei gleicher Leistung je nach Modell zu einem 10 bis 20 Prozent höheren CO_2-Ausstoß führen, wird auch für die kommenden Jahre zutreffen, weshalb der aktuelle Trend zum Ottomotor mit Blick auf die CO_2-Einsparung als Rückschritt betrachtet werden kann.

Stärker noch als im Fall des Diesels besteht aber auch beim Ottomotor noch Potenzial zur Optimierung. So geht die Expertengruppe mehrheitlich davon aus, dass sich bis zum Jahr 2030 gegenüber dem technischen Stand von 2010 eine Verbesserung des Wirkungsgrades unter Berücksichtigung der Elektrifizierung von bis zu 30 Prozent erreichen ließe.

c) Gasfahrzeuge

Eine stärkere Nutzung von (Erd-)Gasfahrzeugen, insbesondere bei der Verwendung von Biomethan aus Alt- und Reststoffen, birgt Potenziale zur Reduktion der einschlägigen Luftschadstoffe sowie Chancen für CO_2-Einsparungen.

Die mögliche Schadstoffminderung (Rußpartikel, NO_X) gegenüber herkömmlichen Dieselfahrzeugen basiert im Wesentlichen auf einem günstigeren Verbrennungsverhalten gasförmiger Kraftstoffe im Vergleich zu Flüssigkraftstoffen.

Gegenüber benzinbetriebenen Antrieben kommen leistungsäquivalente Gasfahrzeuge mit ca. 20 Prozent, gegenüber dem Diesel mit etwa 10 Prozent weniger CO_2-Emmissionen aus. Das technische Einsparpotenzial liegt jedoch deutlich höher, da die Vorzüge von Erdgas in relativ konventionellen Verbrennungsmotoren nur zum Teil realisiert werden. Bei einer vollständigen Optimierung der Motoren für den Erdgasbetrieb wären gegenüber derzeitigen Ottofahrzeugen CO_2-Einsparungen von bis zu 50 Prozent denkbar. Die Verfügbarkeit von Erdgas sowie die teilweise vorhandene, wenn auch ausbaufähige Infrastruktur erlauben – rein technisch betrachtet -- eine rasche, kostengünstige und nennenswerte Ausweitung des gasbasierten Straßenverkehrs.

Der mit 1,2 Prozent sehr geringe Anteil an Gasfahrzeugen in der Bestandsflotte kann durch infrastrukturelle Aspekte und ein begrenztes Fahrzeugangebot erklärt werden. Vielfach verhindern verschiedene Formen von Marktversagen eine stärkere Nachfrageentwicklung, darunter u. a. Koordinationsfehler, das Monopol bei der Kraftstoffversorgung an Bundesautobahnen, Prinzipal-Agenten-Probleme insbesondere im Dienstwagenmarkt. Bislang ist noch von Akzeptanzhürden und Informationsdefiziten auszugehen. Anwendungsschwerpunkte könnten zunächst der ÖPNV (moderate Kosten für z. B. die Busse sowie zur Anpassung der Infrastruktur, wenige Tankstellen ausreichend), Nutzfahrzeuge, Dienst- und Flottenfahrzeuge und Taxis sein.

Neue Erdgas-Pkw sind auch wegen der Steuerbegünstigung von Erdgas für Verkehrszwecke mitunter wirtschaftlicher als Dieselfahrzeuge. Allerdings gibt es unter den gegenwärtigen Bedingungen keinen entscheidungsrelevanten wirtschaftlichen Vorteil gegenüber Dieselfahrzeugen. Für Lkw ist unter den gegenwärtigen Bedingungen noch keine grundsätzliche ökonomische Wettbewerbsfähigkeit gegeben.

Durch die bisherige Menge an zugemischtem Biomethan werden z. Zt. zusätzlich ca. 15 Prozent CO_2 eingespart. Mittel- und langfristig kann der Anteil von erneuerbarem Methan bzw. synthetischem Gas bei Schaffung entsprechender Rahmenbedingungen erhöht werden, sodass der Antrieb zunehmend CO_2-ärmer betrieben werden kann.

Angesichts dieser Vorzüge sollten Gasfahrzeuge auf absehbare Zeit eine wesentliche Rolle spielen. Da die Markteinführung trotz Steuerbegünstigung, einer vergleichsweise guten Betankungsinfrastruktur mit mehr als 900 Zapfsäulen in Deutschland (für Methan) und der Erdgaswirtschaft als Partner nur bedingt erfolgreich war, sollte es vor weiteren Fördermaßnahmen allerdings zunächst eine Evaluation der bisherigen Förderungen geben.

Im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge kommen zunehmend neue Fahrzeugmodelle mit Erdgasantrieb auf den Markt. Alle Motorgrößenklassen sind inzwischen vertreten. Die Reichweitenthematik ist inzwischen weitgehend gelöst (LNG). Gegenüber Dieselfahrzeugen sind sie zudem deutlich leiser. Auch Sonderfahrzeuge wie z. B. Müllfahrzeuge sind mit Erdgasantrieb erhältlich. In Deutschland werden derzeit Pilotprojekte umgesetzt, die auch mit dem Aufbau der notwendigen Betankungsinfrastruktur verbunden sind. Andere europäische Staaten wie z. B. die Niederlande sind hier bereits deutlich weiter und haben Erdgasfahrzeuge insbesondere auch in den Innenstädten stark etabliert.

d) Hybridfahrzeuge

Bei Hybridfahrzeugen kann grundsätzlich zwischen Mild-Hybriden und Voll-Hybriden ohne Aufladeoption einerseits und Plug-in-Hybriden andererseits unterschieden werden. Hybridfahrzeuge ohne externe Auflademöglichkeit sind – anders als Plug-in-Hybride und reine Elektrofahrzeuge – bereits seit vielen Jahren auf der Straße.

Fahrzeuge mit Plug-in-Hybridantrieb sind seit Längerem am Markt vertreten und finden in immer mehr Modellen Eingang. Gleichwohl bestehen nicht zuletzt aufgrund der zunehmenden Vielfalt an hybriden Antriebsformen noch zahlreiche Entwicklungspotenziale.

Egal ob Parallel- oder Serienhybride – mit einer elektrischen Reichweite von weniger als 100 km können 80 Prozent der Fahrkilometer im Pkw-Bereich durch Strom sub-

stituiert werden. Dafür muss nur ein Mal am Tag mit 3 KW Ladeleistung nachgeladen werden.

Im Fall einer seriellen Konfiguration von Hybriden, bei der die Achse allein durch den Elektromotor angetrieben wird, während der Verbrennungsmotor lediglich der Stromerzeugung dient, kann die Verbrennung stets in hocheffizienten Drehzahlbereichen stattfinden, wodurch zusätzliche Einsparpotenziale gegenüber heutigen Otto- oder Dieselmotoren von bis zu 25 Prozent realisierbar sind, mit entsprechenden Vorteilen für den NO_X-, Ruß- und CO_2-Ausstoß. Allerdings müssen in dieser Konfiguration höhere Systemverluste berücksichtigt werden.

Voll-Hybrid-Fahrzeuge sind am Markt bereits etabliert und können wirtschaftlich betrieben werden. Im Gegensatz zu Mild-Hybrid-Fahrzeugen kommt als wesentlicher Vorteil hinzu, dass sie bei entsprechender Batterieausstattung kleinere (innerstädtische) Strecken allein durch den elektrischen Antrieb überbrücken können, da der Elektromotor mit entsprechend ausreichender Leistung ausgestattet ist.

Im Fall von Plug-in-Hybrid (PHEV) kommen neben den beschriebenen Potenzialen, die durch eine Kombination von elektrischem und herkömmlichem Antrieb bestehen, weitere Potenziale zur Emissionsminderung hinzu. So besteht aufgrund der größeren Speicherungskapazität der Batterie die Möglichkeit zu höheren Fahranteilen im Elektrobetrieb. Entscheidend für die CO_2-Minderung ist letztlich zudem, wie hoch der Anteil der im Batteriemodus gefahrenen Kilometer an den insgesamt zurückgelegten Kilometern ist.

Das zusätzliche Potenzial der CO_2-Minderung gegenüber Hybriden ohne Aufladeoption hängt jedoch wesentlich vom Strommix und vom Nutzerverhalten hinsichtlich des regelmäßigen Ladens ab. Im Gegensatz zu voll elektrischen Fahrzeugen profitieren Hybridfahrzeuge von dem deutlich geringeren Gewicht der Batterie und potenziell auch von allen Optionen, die sich aus der Nutzung von alternativen Kraftstoffen ergeben.

Aufgrund der geringeren Bedarfe an Batteriekapazitäten und der geringeren Abweichung gegenüber den bisherigen Produktionsprozessen, kann die Verfügbarkeit an heimischen Hybridfahrzeugen deutlich schneller erhöht werden als jene von rein elektrischen Fahrzeugen. Beeinträchtigt wird eine größere Verbreitung von Hybridfahrzeugen durch das noch nicht in allen Bereichen differenzierte Angebot (insbe-

sondere bei Nutzfahrzeugen), höhere Anschaffungskosten sowie die noch unzureichende Ladeinfrastruktur.

Hinsichtlich der Wertschöpfung ist anzumerken, dass PHEV Parallelhybride aufgrund der hohen Komplexität und einer häufig ähnlich umfassenden Ausstattung mit Blick auf den Verbrennungsmotor (inklusive Abgasnachbehandlung) relativ aufwendig in der Herstellung und dabei unter Betrachtung des Einzelmarktes tätigkeitsintensiver sind als vollelektrische Fahrzeuge. Gegenüber herkömmlichen Verbrennungsfahrzeugen kann die Wirtschaftlichkeit aus Sicht des Nutzers im Fall hoher elektrischer Fahranteile – je nach Kostenrelation zwischen Strom und Kraftstoffen – vielfach gegeben sein.

Eine stärkere Ausweitung des Marktes für PHEV birgt somit nicht nur Potenziale zur Einsparung von Treibhausgasen, sondern begünstigt auch einen schrittweisen und weiterhin beschäftigungsintensiven Strukturwandel in der deutschen Automobilindustrie.

e) Rein elektrische Fahrzeuge

Rein elektrische Fahrzeuge haben sowohl mit Blick auf lokale Schadstoffemissionen als auch mit Blick auf fahrzeuggebundene CO_2-Emissionen mit das höchste Einsparpotenzial. Die lokalen NO_X-Emissionen liegen bei null.

Gerade in Stätten mit hohen NO_2-Immissionswerten erscheint ein zügiger Markthochlauf von BEV daher sinnvoll und wünschenswert, wobei PHEV angesichts der Fahrprofile vielfach ein ähnliches städtisches Emissions-Reduktionspotenzial besitzen und die mitunter kostengünstigere Alternative darstellen.

Eine Ausweitung der Nutzung von rein elektrischen Personenkraftwagen geht mit einem CO_2-Emissionsminderungspotenzial im Betrieb von ca. 50 Prozent unter Berücksichtigung des deutschen Strommix bis 2030 einher und lässt sich auf über 95 Prozent bei der ausschließlichen Verwendung von regenerativem Strom steigern. Hinsichtlich einer umfassenden Bewertung im Sinne des Cradle-to-Grave-Ansatzes fehlt es bislang häufig an verlässlichen Daten.

Hinsichtlich des Ziels eines schnellen Markthochlaufs reiner Elektrofahrzeuge sind nicht zuletzt die Auswirkungen auf die hiesige Wertschöpfung bzw. die Beschäftigung im Verarbeitenden Gewerbe zu berücksichtigen.

Bei der Umstellung der Flotte auf rein elektrische Personenkraftwagen sind insbesondere mit Blick auf die Batteriezellfertigung Einbußen in der Technologiekompetenz und in der Wertschöpfung im Antriebsstrang zu befürchten. In Deutschland werden zudem Auswirkungen aufgrund der bislang fehlenden Zellfertigung erwartet.

Angesichts dieser Größenordnungen stellt sich nicht nur die Frage nach der Notwendigkeit einer deutschen bzw. europäischen Batteriezellfertigung (vgl. Kasten 2), sondern auch die Frage nach einer industriepolitisch flankierten Transformationsstrategie.

Kasten 2: Zur Frage einer deutschen/europäischen Batteriezellfertigung

Energiebilanzneutrale und umweltschonende neue Antriebstechnologien sind eine zentrale Chance für die deutsche Industrie, um ihre Führungsrolle im Automobilbau und seiner Zulieferindustrie zu halten und auszubauen. Der Elektromobilität kommt dabei zukünftig eine besondere Rolle zu. Kern der Debatte um die Zukunftsfähigkeit der Elektromobilität ist die Reichweitenfrage und sie wird wesentlich von der Leistungsfähigkeit der Batterie bestimmt.

Für 2025 wird ein europaweiter Bedarf von rd. 250-300 GWh Batteriekapazitätsnachfrage prognostiziert. Zur Sicherung der gesamten Wertschöpfungskette ist eine Batteriezellfertigung vor Ort von überragendem Interesse. Andernfalls müsste für viele industrielle Produkte ein hoher Wertschöpfungsanteil importiert werden.

Neben dem Fortbestand wesentlicher Teile der Wertschöpfung ist die unmittelbare Kontrolle über die Batterieherstellung aber auch von zentraler technologischer und industriepolitscher Bedeutung für die deutsche und europäische Industrie. Ohne Zellfertigung laufen Deutschland und die EU Gefahr, eine Kernkompetenz in der neuen Wertschöpfungskette aufzugeben.

Die deutsche Industrie wird ihre Spitzenposition jedoch nur halten können, wenn die Fragen rund um die Batterie als Kernfrage verstanden werden. Das umfasst Batteriefertigung und -steuerung ebenso wie Forschung und Fertigung der Zelle. Auch die Entwicklung von Recyclingwegen und –technologien würde durch eine Produktion vor Ort erleichtert.

Schließlich muss Deutschland auch den Anspruch erheben, die CO_2-Emissionen, die bei der Herstellung der Batterien anfallen, nicht auszulagern, sondern vor Ort

nach Möglichkeit möglichst minimal zu halten. Schließlich spart die geografische Nähe von Automobil- und Batterieproduktion Transportaufwand.
Die EU-KOM wird eine europäische Allianz zum Thema Batteriezellfertigung schmieden und strebt an, bis zum Clean Energy Industrial Forum im Februar 2018 in Brüssel eine Roadmap unter Beteiligung interessierter Unternehmen zu erstellen.
EU-KOM wird aufgefordert, die Ansiedlung einer Batteriezellfertigung durch eine wohlwollende beihilferechtliche IPCEI-Auslegung zu fördern. Erste Batteriefabriken sind in Planung.

f) Brennstoffzelle

Neben der reinen Elektromobilität verfügt die Brennstoffzelle mit über die höchsten Einsparpotenziale sowohl für NO_X (100 Prozent) als auch für CO_2 bei Verwendung von 100 Prozent EE-Strom).

Mit Blick auf das Jahr 2030 wird von einer möglichen CO_2-Emissionsminderung in Höhe von 18 Prozent gegenüber der Nutzung der heutigen Dieselfahrzeuge (bei Nutzung der Erdgasdampfreformierung bei der Wasserstoffherstellung) ausgegangen. So ist die mittelfristige CO_2-Bilanz eines Brennstoffzellen-Pkw mit Wasserstoff aus rein fossilem Gas vergleichbar zu einem rein fossil betriebenen CNG-Fahrzeug, was angesichts der klimapolitischen Zielsetzung für das Jahr 2030 unzureichend sein dürfte.

Wird erneuerbarer Strom zur Wasserstoffgewinnung eingesetzt, kann die CO_2-Minderung etwa 95 Prozent betragen. Allerdings ist der Strombedarf bei gegebener Fahrleistung im Gegensatz zu BEV-Fahrzeugen aufgrund der Umwandlungsverluste bei der Wasserstoff-Herstellung durch Elektrolyse mehr als doppelt so hoch.

Neben den wirtschaftlichen Hürden (Wirkungsgradverluste, Herstellung der Brennstoffzelle), die für einen zügigen Markthochlauf bestehen, ist der Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen kurz- und mittelfristig rein angebotsseitig begrenzt.

Derzeit befinden sich weltweit lediglich wenige wasserstoffbetriebene Pkw-Modelle auf dem Markt.

Neben der Fahrzeugentwicklung, die technisch zwar machbar aber zeitintensiv wäre, bräuchte es auch Jahre an Vorlaufzeit, um im nennenswerten Ausmaß erneuerbar H_2 herstellen zu können. Kurzfristig ließe sich die Wasserstoffproduktion mittels Erdgas

ausdehnen, mittelfristig könnten die Anteile des aus der Elektrolyse gewonnenen H_2 entsprechend ansteigen. Auch im Hinblick auf die verfügbaren Tankstellen und die Logistik wären kostspielige und zeitintensive Investitionen notwendig.

Durch FuE-Anstrengungen im Bereich von Fertigungsverfahren und beim Materialbedarf sind jedoch Kosteneinsparungen möglich, sodass die preisliche Diskrepanz zu BEV und Verbrennungsmotoren langfristig abnimmt.

Um Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Antriebsstrangvarianten zu erreichen, müsste auch der Wasserstoffpreis deutlich sinken. Ohne weitere deutliche politische Eingriffe zur Begünstigung eines Markthochlaufs (Infrastruktur, Absatzförderung) dürfte es in Deutschland auf absehbare Zeit weder zu einer nennenswerten Produktion an Wasserstoff-Pkw noch zu einem entsprechenden Absatz kommen.

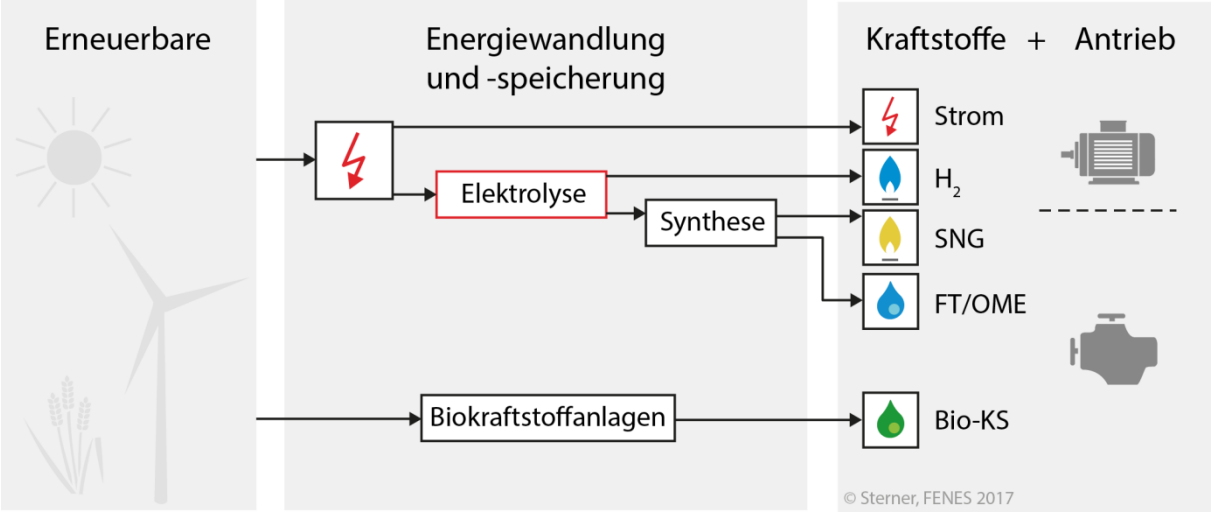
Mittel- und langfristig erscheint die Anwendung der Brennstoffzellentechnologie für anspruchsvolle Einsatzfelder jedoch sinnvoll. In näherer Zukunft denkbar sind Anwendungen im ÖPNV, insbesondere bei Fernbussen, im Lkw-Verkehr und auf geeigneten Schienenabschnitten. Eine weitere Option besteht hierbei in der Kombination aus Brennstoffzelle und aufladbaren Batterien (Brennstoffzellen-Plug-In-Hybride).

B. Alternative Kraftstoffe

Unter alternativen Kraftstoffen sind all jene Energieformen zu verstehen, die sich regenerativ erzeugen lassen. Neben der unmittelbaren Nutzung von erneuerbarem Strom für Verkehrszwecke kann hierbei zwischen biogenen und synthetischen, bzw. strombasierten Kraftstoffarten unterschieden werden.

Biokraftstoffe werden von Biomasse bereits in beträchtlichem Umfang aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. An der Entwicklung strombasierter Kraftstoffe wird gegenwärtig intensiv gearbeitet. Ihnen liegen Elektrolyseverfahren zugrunde, die mit nachgeschalteten Syntheseprozessen gekoppelt werden (Power-to-X-Technologien, vgl. Abbildung 6).

Abbildung 6: Technologiepfade für alternative Kraftstoffe und Antriebe: E-Mobilität, Biokraftstoffe und synthetische Kraftstoffe über Elektrolyse, Power-to-Liquid und Power-to-Gas



Quelle: Sterner, FENES OTH Regensburg (2017)

a) Biokraftstoffe

Im Hinblick auf die CO_2-Problematik sind Biokraftstoffe eine Möglichkeit für einen klimafreundlichen Betrieb von Verbrennungsmotoren.

Vor dem Hintergrund des intensiven Flächenbedarfs bei der Herstellung konventioneller Biokraftstoffe ist das Potenzial aber als begrenzt einzustufen.

Nicht ausgereizt ist jedoch die Nutzung von Biokraftstoffen aus Rest- und Abfallstoffen (2. Generation). Durch Biomethan, Bioethanol und FT-Diesel aus Stroh sind im Fahrbetrieb (mittelfristig) CO_2-Einsparungen gegenüber der Nutzung konventioneller Kraftstoffe von bis zu 90 Prozent möglich. Trotz des Potenzials einer stärkeren Nutzung von Rest- und Abfallstoffen müssen aber auch hier faire Wettbewerbsbedingungen hinsichtlich der unterschiedlichen Verwertungspfade zum Tragen kommen.

Die reinen Erzeugungskosten für Biomass-to-Liquid (BtL) werden auf 1-1,4 Euro pro Liter geschätzt. Bei Biomethan liegen die Kosten derzeit bei 0,5-0,8 Euro pro Liter. Hier wären CO_2-Einsparungen bei geeigneten Rohstoffen von 90 Prozent im Betrieb bereits heute möglich. Bei Biodiesel aus Pflanzenölen und Bioethanol aus Stärke oder Zucker liegen die Kosten unter 1 Euro pro Liter. Allerdings ist das CO_2-Einsparpotenzial geringer und sehr stark vom verwendeten Rohstoff und der Bewertung von Landnutzungsänderungen abhängig.

Die technologische Weiterentwicklung sollte im Zusammenhang mit Power-to-Liquid bzw. Power-to-Gas (PtL/PtG) diskutiert werden, zumal Biomasse für Kohlenstoffe zusätzlich auch für Anwendungen in der chemischen Industrie in Frage kommt.

b) Strombasierte (synthetische) Kraftstoffe

Durch strombasierte bzw. synthetische Kraftstoffe können herkömmliche Verbrennungsmotoren weitgehend CO_2-neutral betrieben werden, was solche Kraftstoffe zu einer wichtigen Option für die zukünftige Mobilität werden lässt. wodurch sie eine wesentliche Ergänzung zur Elektromobilität darstellen. Allerdings ist der Strombedarf bei gegebener Fahrleistung im Gegensatz zu BEV-Fahrzeugen und auch Brennstoffzellenfahrzeugen aufgrund der Umwandlungsverluste höher.

Die unmittelbare Nutzung erneuerbarer Energien ist der Gewinnung synthetischer Kraftstoffe für den Straßenverkehr aus Effizienzgründen grundsätzlich vorzuziehen (vgl. Abschnitt III.C). Im Fall eines in Deutschland unzureichenden Angebots an erneuerbarem Strom bietet der Import von synthetischen Kraftstoffen jedoch das Potenzial für zusätzliche CO_2-Einsparungen.

Aufgrund von besseren Verbrennungseigenschaften könnte durch einen lokalen Einsatz von synthetischen Kraftstoffen auch ein Beitrag zur Reduktion von NO_X in Ballungszentren geleistet werden.

Von zentraler Bedeutung dürften synthetische Kraftstoffe mittel- und langfristig auf jeden Fall im Schiffs- und Flugverkehr und vermutlich auch im Lkw-Langstreckenbetrieb sein. Denn selbst im Falle einer sehr dynamischen Entwicklung der Versorgung mit erneuerbarem Strom wird die Energiedichte von Batterien nicht hinreichend sein, um zweckmäßige, elektrische Antriebsformen für die genannten Segmente zu entwickeln.

Darüber hinaus ist auch eine Beimischung synthetischer Kraftstoffe zu den herkömmlichen Kraftstoffen im Pkw-Verkehr denkbar.

Werden ausschließlich durch erneuerbare Energien gewonnene synthetische Kraftstoffe verwendet, ergeben sich CO_2-Minderungspotenziale in Höhe von bis zu 95 Prozent z. B. für Diesel aus dem Fischer Tropsch Verfahren oder für synthetisches Methan. Die Potenziale von $PtCH_4$ (SNG, synthetisches Methan) liegen geringfügig höher.

Im Kontext der synthetischen Kraftstoffe ist die Differenzierung der elektrischen Energie hinsichtlich zentraler oder dezentraler Verfügbarkeit wichtig. Dezentral durch Photovoltaik erlangte elektrische Energie (z. B. zu Hause, am Arbeitsplatz) ist geeignet und verfügbar zur Unterstützung des Stromnetzes und für die Aufladung von PHEV/BEV Fahrzeugen. Örtlich begrenzte, also zentral verfügbare elektrische Energie (Windparks, Photovoltaik in Südeuropa, Nordafrika…) ist nur mit großen Infrastrukturinvestitionen (Stromtrassen) verteilbar. Für letzteren Fall sind synthetische Kraftstoffe ein geeigneter Lösungsansatz.

Das Potenzial hängt u. a. an der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien im In- und Ausland. Viele Zukunftsszenarien zeigen Bedarf an PtX-Kraftstoffen bzw. strombasierten Kraftstoffen (Wasserstoff, synthetisches Methan SNG, Kerosin, Diesel, Benzin, OME etc.), welche über PtG und PtL aus erneuerbarem Strom, CO_2 und Wasser gewonnen werden: Schiffs- und Flugverkehr, Arbeitsmaschinen und Teile des Schwerlastverkehrs. Es sind große Anstrengungen und ggfs. Importe notwendig, um im nennenswerten Ausmaß Elektrolyseanlagen zur Herstellung von H_2 als Ausgangsstoff für synthetische Kraftstoffe bereitzustellen.

Für den Pkw-Verkehr kann PtX einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten, wenn sich ein hoher CO_2-Preis einstellt und eine PtX-Kostendegression über eine Unterstützung der Markteinführung wirkt. Dafür müssten die PtX-Anlagen aber vor allem an Standorten gebaut werden, die über eine hohe Zahl an Volllaststunden bei volatil erzeugtem EE-Strom verfügen, z. B. in Nordafrika.

Kapazitäten an PtX-Anlagen, die über die reiner Demonstrationsanlagen hinausgehen, erscheinen aber auch in Deutschland sinnvoll. Neben der Frage der Versorgungssicherheit könnte mittels einer heimischen Produktion synthetischer Kraftstoffe eine zunehmende Verknüpfung bislang unterschiedlicher Sektoren (Energie, Luftfahrt, Chemie) durch die Verstromung zu Kraftstoffen möglich werden. Bei stufenweiser Zuführung synthetischer Kraftstoffe über ein Drop-In Verfahren wäre keine Anpassung der Infrastruktur notwendig, hingegen müsste bei Near-Drop-In die Zusammensetzung der Kraftstoffe mit den Antrieben optimiert werden, um Schadstoffemissionen zu reduzieren.

Eine sukzessive, variable Beimischung synthetischer Kraftstoffe erfordert einerseits ein Konzept für die kontinuierliche Anpassung der Kraftstoff-Normen, andererseits – um das emissionssenkende Potenzial der Kraftstoffblends auch ausschöpfen zu

können – eine problemlose Anpassung des Motor-Mappings. Es zeigt sich, dass XtL-Kraftstoffe bei unverändertem, auf EN590-Dieselkraftstoff optimiertem Motor-Mapping mitunter höhere NO_X-Emissionen zur Folge haben. Insofern ist die Anpassung des Motorenmanagements künftig wesentlich, um Zielkonflikte bei der Emissionsreduktion zu verhindern.

In Dieselmotoren kann durch den Einsatz von aus Erdgas gewonnenen Kraftstoffen (GtL = Gas to Liquid) eine leichte Verbesserung des Emissionsverhaltens erzielt werden. Andere Maßnahmen (z. B. die Anschaffung moderner Fahrzeuge oder die Nachrüstung von Bestandsfahrzeugen) haben aber einen deutlich größeren Effekt. Vor diesem Hintergrund kann der bevorzugte Einsatz von GtL vor allem bei Baumaschinen oder bei Schiffen in Betracht kommen. Der Nachweis der Emissionsvorteile muss noch durch geeignete Messungen untermauert werden.

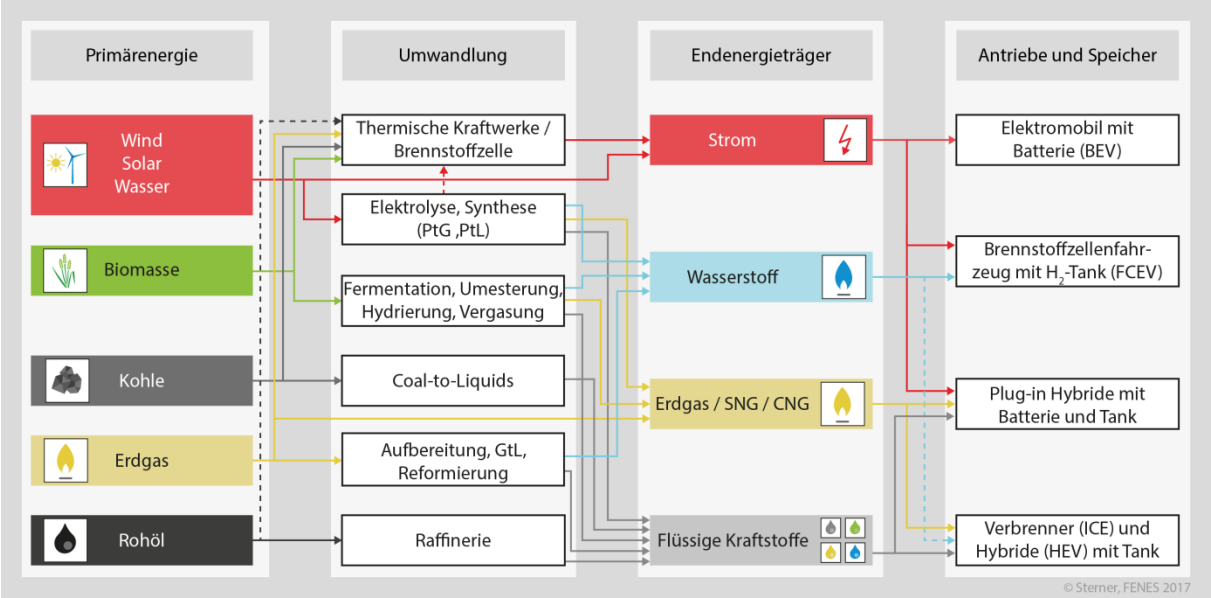
Ein signifikantes Verbesserungspotenzial in diesem Anwendungsbereich wäre mit dem Einsatz von sauerstoffhaltigen synthetischen Kraftstoffen z. B. höhere Alkohole oder OME gegeben, entsprechende Verfügbarkeit vorausgesetzt. Zwar sind für OME technische Änderungen an den Motoren erforderlich, allerdings sind bei beiden mehrfache Emissionsvorteile erzielbar. Neben dem CO_2 Vorteil sind eine praktisch rußfreie Verbrennung und eine deutliche Absenkung der NO_X-Entstehung möglich, sodass die Anforderungen an die Abgasnachbehandlung deutlich reduziert werden. Die Hersteller werden aufgefordert, entsprechende Nachrüstlösungen in ihren Entwicklungsplänen vorzusehen.

C. Gesamtbetrachtung

Die Potenzialanalyse verschiedener Antriebs- und Kraftstoffformen offenbart die vielfältigen Optionen zur Verminderung von Emissionen.

Die zentrale Zukunftsaufgabe besteht dabei darin, nicht nachhaltig betriebene Verkehrsformen mittels eines klugen Mixes an alternativen Antriebs- bzw. Kraftstoffformen sukzessive zu ersetzen. Dabei müssen die Auswirkungen auf das gesamte Energiesystem berücksichtigt werden. Die zentralen Ausgangspunkte der Energiegewinnung werden Biomasse und Strom aus erneuerbaren Energien sein (vgl. Abbildung 7).

Abbildung 7: Konventionelle und nachhaltige Mobilitätspfade von der Primärenergie bis zum Endenergieträger und der Nutzung in verschiedenen Antrieben und Speichern.



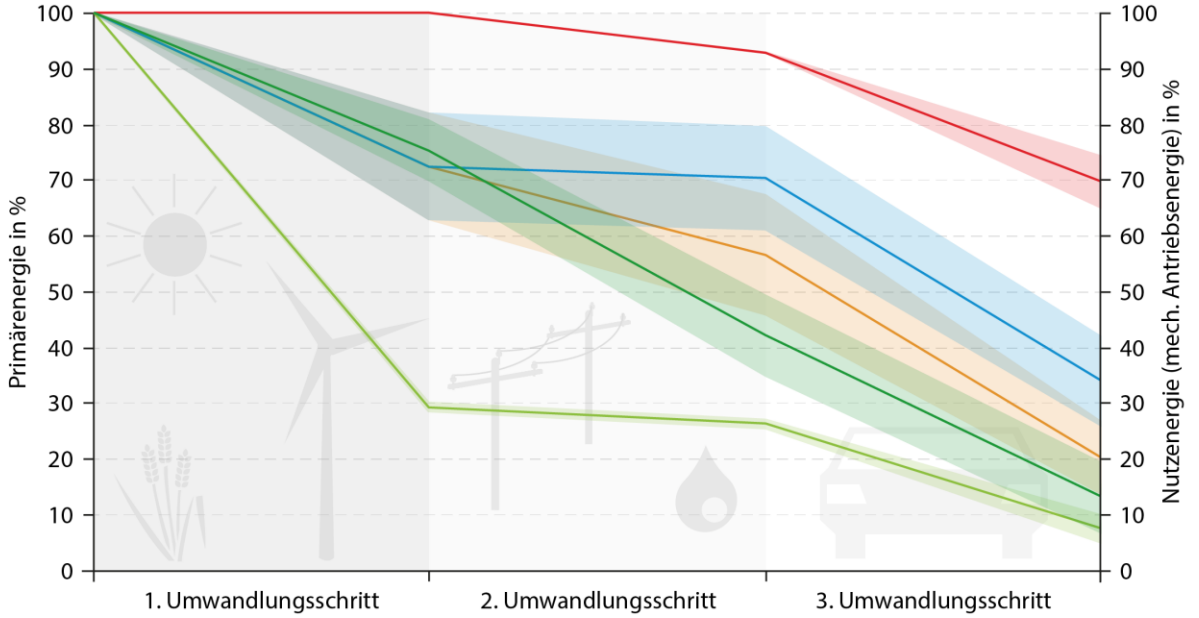
Quelle: Sterner, FENES OTH Regensburg (2017) auf Basis von Quelle [11].

Vor dem Hintergrund der Grenzen bei der Erzeugung von Biokraftstoffen kommt der Verwendung erneuerbaren Stroms mittel- und langfristig eine zentrale Rolle auch bei der Energieversorgung des Verkehrssektors zu. Dies muss gemeinsam mit der Frage nach einer möglichst effizienten gesamtheitlichen Nutzung des erneuerbaren Stroms als grundlegend für die Zukunft der Mobilität betrachtet werden.

Während die Energieeffizienz von rein elektrischen Antrieben unter Berücksichtigung aller Umwandlungsschritte bei rund 70 Prozent angesetzt werden kann, kann bei Brennstoffzellenfahrzeugen von ca. 35 Prozent und bei Verbrennungsmotoren von (höchstens) 20 Prozent ausgegangen werden (vgl. Abbildung 8). Wird nur der letzte Umwandlungsschritt, also die Verbrennung bzw. die Arbeit des Elektromotors betrachtet (Tank-to-Wheel), liegen die Wirkungsgrade entsprechend höher.

Insgesamt ist bei Abbildung 8 zu beachten, dass die heute erreichten hohen Wirkungsgrade von Verbrennungsmotoren bis über 45 Prozent bei Lkw-Anwendungen auf der einen Seite und Produktentstehungskosten sowie Klimatisierungsumfänge und Verlustleistungen bei BEV-Fahrzeugen das Gesamtbild nochmals deutlich verändern. Es verbleibt ein Effizienzvorteil für das BEV insbesondere für urbane Anwendungen, jedoch sind pflanzliche Kraftstoffe als auch verbrennungsmotorische Lösungen deutlich attraktiver als dargestellt.

Abbildung 8: Well-to-Wheel Wirkungsgradketten verschiedener Kombinationen aus alternativen Kraftstoffen und Antrieben für den Pkw-Fahrzeugbestand in Deutschland einschließlich Bandbreiten. Bilanzgrenzen: Primärenergie zu mechanischen Antriebsenergie ohne Einbeziehung von Fahrzeugherstellung und Wärmemanagement



© Sterner, FENES 2017

	1. Umwandlungsschritt	2. Umwandlungsschritt	3. Umwandlungsschritt
Elektrofahrzeug	Stromerzeugung	Transport	Elektromotor
Brennstoffzellenfahrzeug	H_2-Elektrolyse	Aufbereitung und Transport	Brennstoffzelle
Gasfahrzeug	H_2-Elektrolyse	Methanisierung, Aufbereitung und Transport	Gasmotor
Biodieselfahrzeug (1. Gen.)	Rapsölerzeugung	Umesterung	Dieselmotor
Biodieselfahrzeug (2. Gen.)	Biomassevergasung	Fischer-Tropsch	Dieselmotor

Quelle: Sterner, FENES OTH Regensburg (2017), auf Basis von Daten aus den Quellen [1, 2, 4, 6, 9, 10, 12 u. 13], s. Quellenverzeichnis

Anmerkung: Mittelfristige Realwirkungsgrade von Pkw im Bereich von 35 bis 40 Prozent und verschieben die Wirkungsgradkette im 3. Umwandlungsschritt nach oben.

a) Verkehrssegmentübergreifende Perspektive

Die Betrachtung auf Basis der energetischen Verluste im Zuge von Elektrolyse- und Syntheseprozessen sowie bei der Verbrennung von Kraftstoffen legt eine möglichst weitgehende Elektrifizierung des Verkehrssektors nahe. Letztere kann sowohl durch den Einsatz von Batterietechnologien oder – wie im Fall des Schienenverkehrs bereits vielfach praktiziert – durch eine entsprechende Leitungsinfrastruktur erzielt werden.

Im Bereich des Straßenverkehrs kann hierbei – je nach Art des Verkehrs – eine entsprechend zweckmäßige Lösung gefunden werden. So erscheinen etwa die Nutzung

batterieelektrischer Fahrzeuge im innerstädtischen Güterverkehr und die Anwendung von Oberleitungen für den Güterfernverkehr denkbar. Der Antrieb von Schiffen und Flugzeugen wird jedoch auch in Zukunft nur sehr vereinzelt durch die unmittelbare Nutzung von elektrischer Energie stattfinden können (vgl. Abbildung 9).

Abbildung 9: Technische Eignung alternativer Energieträger und Grenzen der Elektrifizierung

Verkehrsträger / Verfahren / Energieträger		Straße							
		Personenverkehr			Güterverkehr				
		Kurz / Mittel	Lang	Busse	Nah	Fern	Schiene	Schiff	Flug
Elektrizität	Batterie								
	Oberleitung								
Power-to-Gas	E-Wasserstoff								
	E-Methan								
Power-to-Liquid	FT / MeOH / OME								
Biokraftstoffe	Biodiesel / BtL								

© Sterner, FENES 2017

Quelle: Sterner, FENES OTH Regensburg (2017), mit Daten der Quellen [10] und [11]

Die Elektrifizierung sollte dabei zunächst beim innerstädtischen Verkehr vorangetrieben werden (insbesondere durch Elektrofahrräder, Pedelecs, Krafträder, Pkw und leichte Nutzfahrzeuge).

Neben Pkw, die vorrangig für kurze und mittlere Strecken in Ballungsgebieten vorgesehen sind, ist eine vollständige Elektrifizierung des innerstädtischen Schienenverkehrs, der Linienbusse im ÖPNV sowie der Straßen-, S- und U-Bahnen auf die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien anzustreben. Es ist prioritär hierfür die Voraussetzung zu schaffen (vgl. Ergebnisse der Expertengruppen II und III).

In Fällen, in denen der Aufbau der Ladeinfrastrukturen zu langwierig und zu teuer ist, kommen als Übergangslösung und aus Kostengründen Gasantriebe und insbesondere Busse mit grünem Gas in Betracht.

In Fällen, in denen die Verkehrszahlen eine Direktverstromung nicht rechtfertigen, kann im Regionalverkehr auch eine Ausstattung mit Brennstoffzellenschienenfahrzeugen sinnvoll sein.

Reale Reichweiten bis 200 km lassen sich mit rein elektrischen Fahrzeugen (BEV) heute gut erreichen und sind bereits für über 400 km angekündigt. Diese Antriebe

sind auch mit Plug-in Hybride (PHEV), die einen Verbrennungsmotor mit einem Elektromotor verbinden, zu bedienen.

Würden die PHEV mit einer Batterie für eine reale Reichweite von z. B. 100 km ausgelegt, könnten die meisten Fahrten mit dem effizienten und emissionsarmen batterieelektrischen Antrieb zurückgelegt werden. Nur etwa 20 Prozent der gesamten Fahrleistung von Personenkraftwagen werden bei Tagesfahrleistungen von über 100 km erbracht. Hierbei könnten neben der technischen Konzeption für höhere Reichweiten, geeignete Maßnahmen, wie zum Beispiel fiskalische Anreize oder automatische Ortung, entwickelt werden, um eine Maximierung der elektrischen Fahranteile, insbesondere im innerstädtischen Bereich, zu befördern.

Für Lastkraftwagen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von über zehn Tonnen, Bau- und Arbeitsmaschinen sowie See- und Binnenschiffe wird es weiter einen Bedarf an Kraftstoffen mit hoher Energiedichte geben. Als Alternativen kommen Gasantriebe, Brennstoffzellenantriebe und aus regenerativen Energieträgern hergestellte Flüssigkraftstoffe in Betracht. Letztere können kurz- und mittelfristig in erster Linie auf Grundlage von Abfall- und Reststoffen, mittel- und langfristig aus Power-to-X-Verfahren (PtX) gewonnen werden.

Anbaubiomasse aus Deutschland ist aufgrund des Flächenpotenzials nur eine begrenzte Option, mit zunehmendem Ausbau von Erzeugungskapazitäten für erneuerbaren Strom wohl aber zusätzlich strombasierte Kraftstoffe.

Für einzelne klar definierte Strecken der Autobahnen kann ein System der direkten Stromabnahme durch Lastkraftwagen eine sinnvolle Ergänzung sein. Die Ergebnisse der derzeit laufenden Feldversuche sind dabei einzubeziehen. Teilweise wird dieser Verkehr auch mit Motoren abgewickelt werden können, die Bio-LNG (Liquified Natural Gas) oder synthetisches verflüssigtes Methan tanken. Auch eine Oberleitungselektrifizierung von Autobahnen sollte als Option berücksichtigt werden.

Auch der batteriegetriebene Lastkraftwagenverkehr könnte aus wirtschaftlicher Sicht realistisch werden, wenngleich die Herausforderungen für die Infrastruktur beträchtlich sind. Da diese Fahrzeuge aufgrund der Lenkzeitenvorschriften spätestens nach $4^1/_2$ Stunden Fahrtzeit eine Pause von 45 Minuten einlegen, muss eine Batterie im Lastkraftwagen dementsprechend $4^1/_2$ Stunden Fahrbetrieb gewährleisten. An den Autobahnraststätten und Parkplätzen müssten dann entsprechende Ladestationen errichtet werden, die die Nachladung der Fahrzeuge in den 45 Minuten Standzeit ermögli-

chen. Deutlich begrenzend ist in dieser Anwendung die Einschränkung der Nutzlast, zudem sind Ladesysteme enormer Leistungsdichte erforderlich. Diese bräuchte es entsprechend auch an den Be- und Entladestandorten. Vor diesem Hintergrund besteht hier ein noch relativ offener Technologiewettbewerb mit der Brennstoffzelle und dem Einsatz synthetischer Kraftstoffe.

Langestreckenbusse können mit einer Kombination aus EE-Methan oder Brennstoffzelle und einem Energiespeicher mit begrenzter Reichweite angetrieben werden. Langfristig wären Langstrecken-Personenkraftwagen batterieelektrisch mit Range-Extender vorstellbar.

Bei Elektrobussen (Batterie-, Oberleitungs-, Brennstoffzellenbusse) sind ebenfalls hohe Investitionen in die Infrastruktur und/oder die Fahrzeuge erforderlich. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist daher nur bedingt möglich. Allerdings zeichnet sich eine deutliche Tendenz zu Beschaffung emissionsarmer öffentlicher Busse ab. Bei Oberleitungssystemen kommt hinzu, dass durch notwendige Planverfahren ein großer zeitlicher Vorlauf insbesondere für Netzinvestitionen nötig ist und ein Realisierungsrisiko besteht.

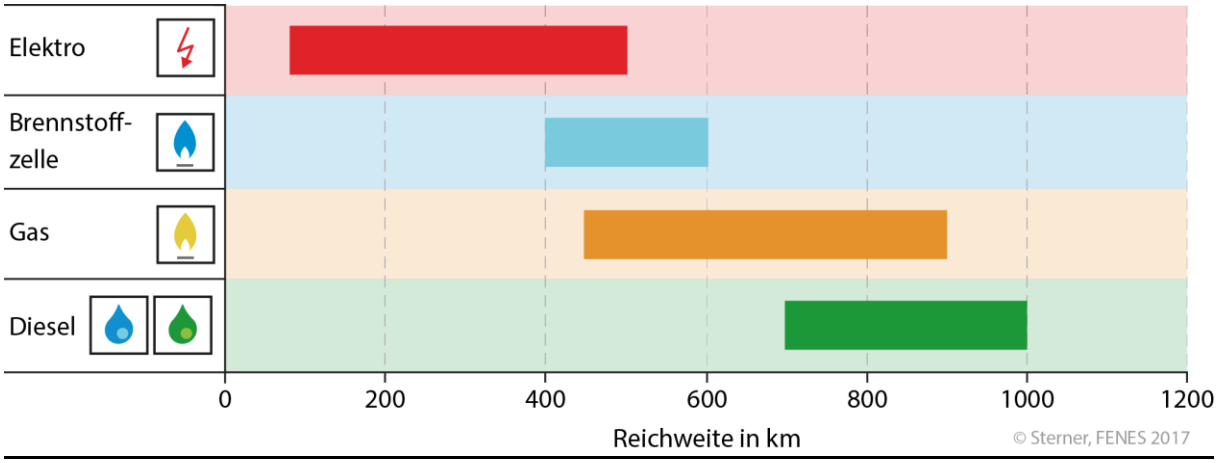
b) Fokus auf den Pkw-Markt

Während die unmittelbare Nutzung von Strom in batterieelektrischen Fahrzeugen wesentliche Vorzüge im Hinblick auf den Wirkungsgrad besitzt, kehrt sich das Ranking der Energieformen mit Blick auf die Reichweite in Teilen um. So sind reine Elektrofahrzeuge selbst bei großzügiger Batterieausstattung gegenwärtig meist auf Reichweiten von unter 500 km beschränkt, wohingegen Gasfahrzeuge nach einmaliger Betankung Reichweiten von deutlich über 500 km und flüssige Kraftstoffe trotz kompakterem Tank noch höhere Reichweiten erzielen. Allerdings haben mittlerweile alle Hersteller angekündigt, BEV mit höheren Reichweiten herauszubringen. Ob es angesichts rasanter technologischer Fortschritte bei der Batterietechnologie, die zu einer starken Kostendegression geführt hat, bei geringeren Reichweiten bleiben muss, ist offen. Für PHEV existiert zudem kein Reichweitenproblem.

Die Brennstoffzelle rangiert nach heutigem technologischen Stand im Mittelfeld und kann perspektivisch nach einmaliger Wasserstoffbetankung Strecken zwischen 400 und 600 km überwinden (vgl. Abbildung 10). Hierbei ist zu beachten, dass Hybridfahrzeuge – je nach Speicherkapazität der Batterie – eine Vielzahl von Kombinatio-

nen erlauben. So bieten PHEV, die mit einer Batteriereichweite von 50 bis 100 km ausgestattet sind, einerseits nennenswerte Emissionsvorteile, andererseits durch die Kombination mit einem Diesel- oder Ottomotor hohe Reichweiten.

Abbildung 10: Pkw-Reichweiten nach Kraftstoffart in km



Quelle: Sterner, FENES OTH Regensburg (2017) auf Basis der Quellen [10] und [11].

Neben den zentralen Kriterien Wirkungsgrad und Reichweite bestehen jedoch noch eine ganze Reihe weiterer Kriterien, die über die Kombination der einzelnen technologischen Optionen mitentscheiden werden (vgl. Abbildung 10).

Hinsichtlich der rein technischen Voraussetzungen stellt die relative lange Ladedauer im Fall von BEV keinen unwesentlichen Nachteil dar. Selbst durch die Anwendung von Schnellladesystemen beträgt die Tankdauer im Fall von flüssigen oder gasförmigen Kraftstoffen bislang ein Bruchteil des Aufladezeitraums rein elektrisch betriebener Fahrzeuge. Aktuelle Studien berücksichtigen diese Zusammenhänge und lassen für BEV einen Pkw-Marktanteil von 20 bis 30 Prozent im Jahr 2030 erwarten. Darüber hinaus müssen die Verteilnetze für die Bewältigung der Fahrstromnachfrage ertüchtigt und mögliche Folgen für die Netzentgelte betrachtet werden.

Das Joint Venture „Ionity“ zahlreicher europäischer Automobilhersteller beabsichtigt bis 2020 ein Schnelladenetz von 400 Stationen mit einem bis zwölf Ladepunkten des CCS-Standards mit jeweils 350 kW Ladeleistung aufzubauen. So soll das schnelle Nachladen von 400 km Reichweite in 15 Minuten flächendeckend möglich werden.

Im Bereich der städtischen und ländlichen Verteilnetze ist jedoch noch erheblicher Planungsaufwand von Nöten, um die Infrastruktur mit ausreichend Ladepunkten auszustatten.

Während damit die Knappheit an Ladepunkten mit Blick auf BEV hingegen schon in wenigen Jahren vielerorts überwunden sein kann, ist die Infrastruktur zur Betankung mit Wasserstoff nach wie vor nur rudimentär ausgebaut.

Hinsichtlich der Kosten der einzelnen Antriebsformen besticht die Elektromobilität zwar aufgrund des hohen Antriebswirkungsgrades und entsprechend günstiger laufender Kosten, gleichwohl bestehen höhere Anschaffungskosten, was sich angesichts möglicher Rohstoffknappheiten bei der Batterieproduktion mittelfristig trotz Skaleneffekte auch nicht so schnell ändern dürfte. Zudem sind praktische Erkenntnisse bezüglich Lebensdauer und Wiederverwertung bislang nur eingeschränkt vorhanden.

Allein bezogen auf den Kraftstoff sind Wasserstoff und Biokraftstoffe synthetischen Kraftstoffen aus heutiger Sicht bezogen auf den Wirkungsgrad überlegen. Sämtliche alternativen Kraftstoffe sind gegenüber fossilen Kraftstoffen derzeit ökonomisch im Nachteil. Nur eine hohe CO_2-Bepreisung von fossilen Kraftstoffen würde alternative Kraftstoffe wirtschaftlich konkurrenzfähig machen.

Als Ursachen für die fehlende Wirtschaftlichkeit alternativer Kraftstoffe sind der mitunter geringe Entwicklungsstand und sowie das meist sehr begrenzte Marktvolumen zu nennen. Biokraftstoffe weisen jedoch starke Grenzen im nachhaltigen Potenzial auf und die Nutzung von reinem Wasserstoff erfordert investitionsintensive Infrastrukturmaßnahmen.

Aus diesen beiden Gründen bleiben synthetische Kraftstoffen eine Option, vor allem wenn sie in der bestehenden Infrastruktur (Mineralöl, Erdgas) transportiert, gespeichert, verteilt und verwendet werden können. Zudem genießen gerade flüssige (synthetische) Kraftstoffe eine hohe Kundenakzeptanz. Tabelle 3 zeigt die heutigen und zukünftigen Kostenabschätzungen für fossile, biogene und synthetische Kraftstoffe auf.

Langfristig ist bis 2050 mit einem Kostenanstieg fossiler Kraftstoffe und bei entsprechendem Marktdurchbruch einer starken Kostendegression synthetischer Kraftstoffe zu erwarten.

Tabelle 3: Weltmarktpreise konventioneller Kraftstoffe sowie Produktionskosten ausgewählter postfossiler Kraftstoffe und Strom für 2010 und 2050 in € / MWh ohne MwSt. und ohne Energie- bzw. Mineralölsteuer

	Kraftstoff	Kosten 2010 in € / MWh	Kosten 2050 in € / MWh
Weltmarktpreise (ohne Steuern):			
Konventionelle Kraftstoffe	Benzin [8]	61	139
	Diesel [8]	58	139
	Erdgas [11]	85[1]	125
Produktionskosten			
Biokraftstoffe	Biodiesel [7]	95	105
	Bioethanol [8]	180	122
	Bioethanol aus Algen [8]	1517	n. a.
	Bio SNG [8]	79	67
Strom	E-Mobilität [8]	140	65
Synthetische Kraftstoffe	Wasserstoff [8]	288	112 (117[3])
	Power-to-Liquid [8]	490	184 (109[3])
	Power-to-Gas [8]	371	173
	LPG [8]	389	176

Quellen: Eigene Zusammenstellung auf Basis der Quellen [3, 7, 8 u. 11]

Hinsichtlich der Ökobilanz gilt es neben CO_2 und NO_X auch weitere Aspekte wie Feinstaub, Lärm und die Fragen der Ressourcengewinnung und des Recyclings zu berücksichtigen. Hierbei schneiden BEV und Brennstoffzellenfahrzeuge im Betrieb aufgrund des fehlenden Verbrennungsvorgangs naturgemäß am besten ab. Im Fall batteriebetriebener Fahrzeuge bleibt das Problem der Treibhaus- und Schadstoffemissionen im Zuge der Ressourcengewinnung und Herstellung ebenso wie das des Recyclings jedoch diskussionswürdig.

Für die Abschätzung der Potenziale der einzelnen Antriebsvarianten empfiehlt sich eine integrierte ganzheitliche Betrachtung (Total Costs of Ownership und Cradle-to-Grave). Hierbei sollten neben den technischen Effizienzsteigerungspotenzialen der Antriebstränge auch die damit verbundenen Kostenentwicklungen berücksichtigt und für Steuerungsmaßnahmen verwendet werden.

[1] Verbraucherpreise für Erdgas aus dem Jahr 2013

Abbildung 11: Vor- und Nachteile wesentlicher Kraftstoff-Antriebs-Optionen hinsichtlich Technik, Kosten und Ökologie. Die Diesel-Problematik mit NO_X und Feinstaub ist durch motorische Maßnahmen und Kraftstoffalternativen zu beheben.

	Technik				Kosten			Ökologie				
	Wirkungs-grad wtw	Reich-weite	Tank-, Ladezeit	Lade-punkte	An-schaffung	Kraft-stoff	Aufbau In-frastruktur	CO_2	NO_x	Fein-staub	Lärm	Ressourcen, Recycling
Elektro	65-74 %	80-500 km	> 20 min	ca. 9000								
Wasserstoff	26-42 %	400-600 km	< 3 min	ca. 30								
Gas SNG	14-27 %	490-900 km	< 3 min	920								
Diesel (FT, OME)	7-19 %	700-1000 km	< 3 min	14500								
Biodiesel (RME)	5-10 %	700-1000 km	< 3 min	14500								

© Sterner, FENES 2017

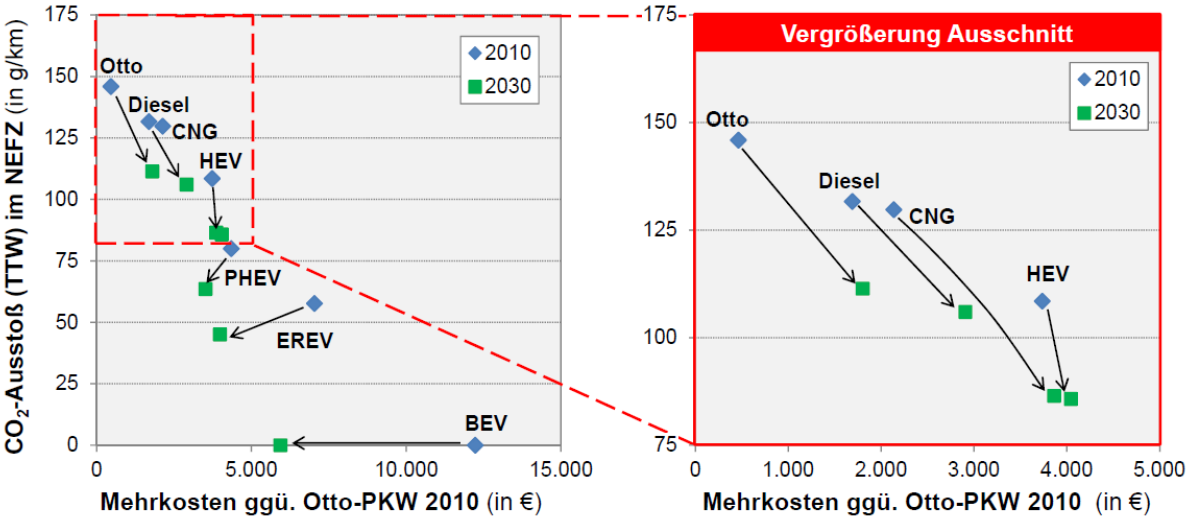
Quelle: Sterner, FENES OTH Regensburg (2017), mit Daten aus den Quellen [1, 4–6, 9, 10, 12 u. 13]

Anmerkung: Diese Bewertung bezieht sich auf den heute im Feld befindlichen Technologiestand. Die Schadstofffelder NO_X und Feinstaub gehen für die Zukunft für alle Antriebe auf grün. Das ist primär eine Frage der Marktdurchdringung. Auch die Kosten der alternativen Kraftstoffe werden sinken und die Felder der Elektromobilität im Bereich Reichweite, Ladezeiten und Infrastruktur auf gelb bzw. grün gehen.

Beispielsweise sind für den Dieselmotor noch Effizienzsteigerungen um weitere ca. 18 Prozent zu Mehrkosten von rund 80 Prozent (beides 2030 gegenüber 2010) möglich (siehe Abbildung 12). Demgegenüber wird für PHEV oder reichweitenverlängerte Elektrofahrzeuge eine geringere CO_2-Verbesserung von ca. 10 Prozent attestiert, wohl aber ein Rückgang der hybridbedingten Mehrkosten gegenüber Otto-Pkw von rund 20-45 Prozent (wieder 2030 gegenüber 2010).

Sogenannte „Fahrzeug-Technik-Szenario-Modelle“ können helfen, aus den technischen Potenzialen entsprechende Marktanteile und damit auch Emissionsminderungsbeiträge zu ermitteln. Berücksichtigt werden sollten dabei auch weitere mögliche Rahmenbedingungen politischer und regulatorischer Art. In diesem Zusammenhang können die so gewonnen Aussagen dazu dienen, künftige Maßnahmen hinsichtlich der Entwicklungspotenziale und ihrer Auswirkung auf Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen zu bewerten und einzuordnen.

Abbildung 12: Zusammenwirkung von CO_2-Minderungspotenzial und Mehrkosten, Simulationsergebnisse für Kundenpräferenz 2010/2030 im Mittelklasse-Segment.

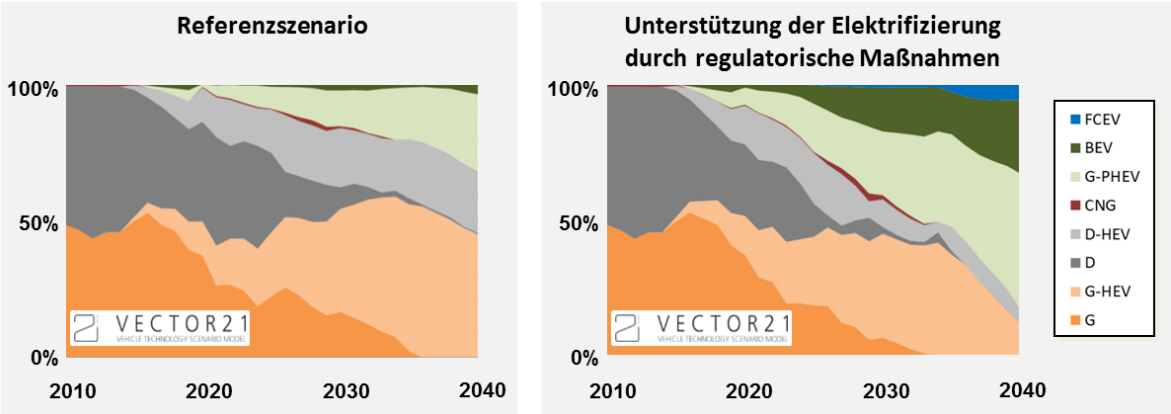


Quelle: Redelbach, M. (2016): Entwicklung eines dynamischen nutzenbasierten Szenariomodells zur Simulation der zukünftigen Marktentwicklung für alternative Pkw-Antriebskonzepte, Dissertation, DLR Forschungsbericht 2016-12

Anmerkung: Die Werte für 2010 zeigen Simulationsergebnisse für den Fall dass 2010 verfügbare Technologien auch verwendet wären, der Unterschied ergibt sich zur tatsächlichen Technologie-Durchdringung in 2010.

Abbildung 13 zeigt exemplarisch die Ergebnisse von zwei Simulationsszenarien. Gegenüber dem Referenzszenario (links) zeigt sich, dass eine stärkere Elektrifizierung auf Basis entsprechender politischer Rahmenbedingungen (z. B. Anhebung und Anpassung der Mineralöl-/Energiesteuer, schärfere CO_2-Vorgaben, beschleunigter Aufbau der Ladeinfrastruktur) bis 2040 zu dominanten Anteilen von PHEV und Batterieelektrischen am Fahrzeugbestand führen kann.

Abbildung 13: Ergebnisse von modellbasierten Marktszenarien zur Marktdurchdringung verschiedener Antriebsstrangkonzepte in Deutschland bis 2040 (gestützt auf eigenen Modellierungen und Simulationen des DLR)



IV. Grundsätze und Handlungsoptionen für einen erfolgreichen Strukturwandel

A. Grundsätze

Zentrale Ziele sind kurzfristig die Reduktion von NO_X und mittelfristig die CO_2-Reduktion entsprechend den Vorgaben des Klimaschutzplans, die aktive Gestaltung des Strukturwandels in der Automobilindustrie und ihre weltweite Wettbewerbsfähigkeit sowie die Innovationsführerschaft zu sichern. Entsprechend muss bei der Gesamtstrategie darauf geachtet werden, dass der Wandel der Produktionspalette mit einer weitgehenden Sicherung von Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland einhergeht.

Ehe im Folgenden die einzelnen Handlungsfelder ausgeführt und konkrete Handlungsoptionen beschrieben werden, sei an dieser Stelle auf vier zentrale und übergreifende Grundsätze hingewiesen, die es bei dem bevorstehenden Strukturwandel zu beachten gilt:

a) Technologieoffenheit gewährleisten

Die Expertengruppe spricht sich für eine möglichst technologieoffene Industriepolitik aus. Dies schließt jedoch anfängliche Investitionen zur Markterschließung -- etwa im Bereich der Infrastruktur (z. B. für Elektromobilität oder Gasfahrzeuge) – nicht aus. Ohne die Erschließung anfänglicher Größenvorteile kann ein fairer technologischer Wettbewerb nicht stattfinden. Ziel muss sein, dass Emissionen zuerst dort vermieden werden, wo dies am günstigsten ist. Dies impliziert insbesondere gleiche Rahmenbedingungen für verschiedene Energieträger in Bezug auf Steuern und Abgaben. Hierfür ist auch eine Bepreisung der CO_2-Emissionen über die gesamten Wertschöpfungsketten erforderlich.

b) Möglichst vollständige Lebenszyklusbetrachtungen zugrunde legen

Entscheidend für eine zielführende Klimapolitik im Verkehrssektor ist die Betrachtung und der Vergleich aller CO_2-Emissionsquellen entlang der gesamten Wertschöpfungskette unter Einschluss der Rohstoffproduktion und des Recyclings „Cradle-to-Grave“, und nicht nur wie bisher von „Tank-to-Wheel“ oder „Well-to-Wheel“. Hierfür bedarf es einer klaren Systematik, da es sonst lediglich zu einer teuren Verlagerung

von Emissionen kommt. Berücksichtigt werden muss aus Gründen der Investitionsumfänge, der Planungssicherheit und der Verlässlichkeit in einem Übergangsszenario die aktuelle CO_2-begünstigte Anrechnung der Elektromobilität bis zur finalen Einführung einer Cradle-to-Grave basierten CO_2-Gesetzgebung auf europäischer Ebene.

c). Regulierung auf Basis von möglichst realen Emissionsdaten vornehmen

Die Diskrepanz zwischen den Fahrzeugemissionen im Testzyklus und den Emissionen des Realbetriebs (sowohl NO_X als auch CO_2) hat zu beträchtlichen Verzerrungen bei der Motoren- und Fahrzeugentwicklung und unbefriedigenden Umweltergebnissen geführt. Die Umstellung des Prüfzyklus auf WLTP mit Blick auf CO_2 und auf RDE mit Blick auf NO_X wird durch die Expertengruppe begrüßt. Es geht darum, valide Emissionsangaben sicherzustellen. Dafür tragen die Hersteller die zentrale Verantwortung. Die Typgenehmigungsvorschriften müssen entsprechend weiterentwickelt werden.

d). Eine erfolgreiche Transformation der Automobilindustrie ist eine Gemeinschaftsaufgabe

Eine erfolgreiche Transformation der Automobilindustrie muss neben den skizzierten technologischen, infrastrukturellen sozialen und regulatorischen Umwälzungen auch beinhalten, dass die Beschäftigten eine reale Perspektive auch unter veränderten Produkt- und Marktbedingungen erhalten. Ansonsten ist die legitimatorische Basis der Transformation gefährdet. Das erfordert neben entsprechenden Investitionsentscheidungen der Unternehmen in die Standorte und der öffentlichen Hand in die Rahmenbedingungen erhebliche Anstrengungen im Bereich Qualifizierung und Weiterbildung. Damit könnten vor allem kleinere Zulieferunternehmen sowie die bestehenden Automobilregionen überfordert sein. Daher ist eine Flankierung dieser Transformation durch eine integrierte Industrie-, Forschungs- und Arbeitsmarktpolitik erforderlich.

B. Handlungsfelder und Maßnahmenoptionen

Die unter Kapitel III aufgezeigten Potenziale zur Bewältigung der umweltpolitischen Herausforderungen im Verkehrssektor können nicht allein aufgrund der regulatorischen Gesetzgebung im Hinblick auf NO_2-Immissionswerte und

CO_2-Flottenverbräuche ausgeschöpft werden. Insbesondere im Hinblick auf die ambitionierte Zielsetzung für die CO_2-Emissionen im Verkehr 2030, aber auch zur Vermeidung von Fahrverboten bedarf es kurzfristig effektiver Maßnahmen seitens der Politik. Hier bestehen zahlreiche, potenzielle Handlungsfelder -- entsprechend der Vielfalt an Hemmnissen einer entsprechenden Marktentwicklung. Neben dem Abbau von regulatorischen Hürden, bedarf es insbesondere eines politisch flankierten Infrastrukturausbaus, aber auch fiskalischer Maßnahmen. Auch die Fortsetzung und Verstärkung der öffentlichen und öffentlich geförderten Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen ist wünschenswert, um die beschriebenen Potenziale möglichst schnell zu erschließen. Die geplanten Fördermaßnahmen sollten eine abgegrenzte zeitliche Perspektive haben. Zudem ist eine Fokussierung auf schnell erreichbare Effekte in betroffenen Ballungsräumen anzustreben.

a) Maßnahmenoptionen zur Markteinführung

- Generelle Forderung: Herstellung von langfristiger Planungssicherheit bzw. Reduktion politischer Unsicherheit (etwa mit Blick auf Investitionen in E-Mobilität, Batteriezellfertigung, Gasfahrzeuge und PtX-Technologien)
- Ersatz von Fahrzeugen mit hoher innerstädtischer Fahrleistung (z. B. ÖPNV, Taxen, Kurier-, Express- und Paketdienstleister, Supermarktbelieferung) durch rein elektrische Fahrzeuge sowie PHEV, Erdgas- und Brennstoffzellenfahrzeuge, unterstützt durch entsprechende Anreiz-, Förder- und Begleitprogramme. Dieselfahrzeuge, die sowohl innerstädtisch als auch außerstädtisch mit teilweise größeren Reichweiten betrieben werden, sollten durch modernste Niedrigemissions Euro 6d-Dieselfahrzeuge ersetzt werden.
- Ausweitung der in einigen Ländern bereits praktizierten finanziellen Förderung der Busbeschaffung, um einen Anreiz zur Erneuerung der Flotte mit Niedrigemissions Euro 6-Dieselfahrzeugen (vorgezogener Austausch der Fahrzeuge) oder von Erdgasfahrzeugen zu schaffen.
- Förderung von elektrifizierten Antriebstechnologien mit reduzierter Abhängigkeit von der Ladeinfrastruktur (z. B. PHEV der nächsten Generation mit Incentivierung des bevorzugt elektrischen Fahrbetriebs)

- Förderung der wegen des Kraftstoffs schon automatisch als Euro-6-fähig eingestuften Erdgastechnik in Verbindung mit dem Einsatz von Biomethan und später auch $PtCH_4$ (synthetisches Methan).

b) Regulatorische Maßnahmenoptionen

- Damit der Markthochlauf von Hybrid- und reinen Elektrofahrzeugen mit möglichst hohen CO_2-Einsparungen verbunden ist, muss der zusätzliche Strombedarf im Rahmen des Ausbaus von EE-Strom Berücksichtigung finden. Denn Elektromobilität ist letztendlich nur in Verbindung mit EE-Strom zielführend. Hierfür gilt es, den regulatorischen Rahmen entsprechend anzupassen. Gleichzeitig muss durch geeignete Instrumente sichergestellt werden, dass der elektrische Fahranteil von Plug-In Hybriden, insbesondere im innerstädtischen Bereich, maximiert wird.
- Emissionsfreie Fahrzeuge sollten bei der Parkraumbewirtschaftung privilegiert werden können. Schon jetzt können Länder oder Kommunen auf der Basis des Elektromobilitätsgesetzes Elektrofahrzeugen Vergünstigungen zukommen lassen. Dazu wäre nach diesem Vorbild ein eigenständiges Bevorrechtigungsgesetz außerhalb des Straßenverkehrsrechts zu schaffen.
- Eine Einbeziehung von Nutzfahrzeugen der Fahrzeugklassen N2 und N3 sowie L1e bis L7e in das Elektromobilitätsgesetz würde die Privilegierungsmöglichkeiten bei diesen Fahrzeugen klären.
- Der Zugang zu den Ladesäulen muss durch eine Preistransparenzregelung für den Fahrstrom und eine Regulierung der Roamingkosten erleichtert werden.
- Zeitnah muss das Wohneigentums- und Mietrecht geändert werden, damit Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in gemeinschaftlich genutzten Gebäuden oder Garagen leichter eingerichtet werden kann.
- Erreichung der europarechtlichen Anrechenbarkeit „grünem H_2“ in Raffinerien und synthetischer Kraftstoffe allgemein im Rahmen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie. Anpassung der Flottengrenzen und der europäischen Mindestquote für erneuerbare Kraftstoffe auf deutsche Verhältnisse hin zu ei-

nem Fahrplan der ausgerichtet ist auf die Zielwerte im Klimaschutzplan für 2030.

- Prüfung, ob durch Anpassung des EEG und des EnWG der Einsatz von PtX-Technologien (inkl. Power-to-Heat) in Netzengpassgebieten technologieoffen und kosteneffizient unterstützt werden kann.
- Prüfung, welche weitere Vereinfachungen von Genehmigungsprozessen für Wasserstoffinfrastruktur möglich sind.
- Eine weitere Anpassung von Kraftstoffspezifikationen (z. B. EN228 und EN590) würde eine weitergehende Optimierung der Verbrennungseigenschaften von Super –und Dieselfahrzeugen ermöglichen.
- Prüfung von Vereinfachungen hinsichtlich des Inverkehrbringens und Einsatzes von innovativen emissionsmindernden Kraftstoffen. Eine diesbezügliche Novellierung der 10. BImSchV, die z. B. Flottenversuche von GTL-Kraftstoffen und synthetischen Kraftstoffen erleichtert, wäre hilfreich.
- Prüfung der Anrechenbarkeit von selbst hergestellten oder zugekauften PtX-Kraftstoffen auf die Flottenemissionen eines Herstellers.

c) Maßnahmen zum Infrastrukturausbau

- Notwendig ist ein weiterer Ausbau der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge und Förderung von Lademöglichkeiten zu Hause und am Arbeitsplatz. Insbesondere im Verteilnetz sind höhere elektrische Anschlussleistungen je Wohneinheit vorzusehen und in die Gebäudeplanung von Neubaugebieten und Sanierungen einzubeziehen. Die Möglichkeiten der Digitalisierung und anderer netztechnischer Maßnahmen müssen hierbei umfassend genutzt werden.
- Sicherstellung einer partiellen Verstärkung und Digitalisierung der den Elektrofahrzeugen vorgelagerten Stromnetze. Dabei bedarf es einer stärkeren Synchronisierung von Leitungs- und elektrischer Fahrleistungskapazitäten sowie generell einer deutlichen Verstärkung der Netzintelligenz.

- Erforderlich sind Maßnahmen zur Stärkung der Akzeptanz von Erdgasfahrzeugen sowie der weitere Ausbau der Erdgas-Tankstelleninfrastruktur, insbesondere an den Bundesautobahnen.
- Rollout intelligenter Zähler und Ausbreitung geeigneter Steuerungs- und Regeleinheiten zur systemdienlichen Nutzung von Elektrofahrzeugen.

d) Abgaben- und steuerpolitische Maßnahmenoptionen

- Herstellung fairer steuer- und abgabenpolitischer Wettbewerbsbedingungen zwischen konventionellen und alternativen Antrieben. Hierfür müssen fossile Kraftstoffe in Relation zu Strom stärker belastet und/oder Strom weniger stark belastet werden. Hierbei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass die zusätzlichen CO_2-Emissionen der Batterieherstellung ebenfalls einer entsprechenden CO_2-Bepreisung unterliegen.
- Herstellung fairer steuer- und abgabenpolitischer Wettbewerbsbedingungen zwischen fossilen Kraftstoffen, erneuerbarem Strom und alternativen Kraftstoffen, orientiert am fossilen CO_2-Ausstoß sowie Verbesserung der Rahmenbedingungen für PtG Anlagen, wenn sie zur Stabilisierung der Energiewende geeignet sind.
- Bilanzierung der importierten Produkte und Energieträger im Umfang ihrer CO_2 Belastung an den Außengrenzen der EU, um generelle CO_2 Neutralität zu fördern, bzw. fossiles CO_2 zu belasten.

e) Maßnahmenoptionen im Bereich Forschung, Entwicklung und Demonstration

Die Expertengruppe befürwortet grundsätzlich eine breit angelegt öffentliche Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich von Antriebstechnologien und alternativen Kraftstoffen. Den Hochschulen kommt hierbei eine wichtige Rolle zu. Allerdings hat die Diskussion auch gezeigt, dass es in bestimmten Bereichen besonderer Forschungsanstrengungen bedarf:

- Hinsichtlich konventioneller Antriebe besteht weiterer FuE-Bedarf insbesondere mit Blick auf
    - Leichtbau im Spannungsfeld zwischen technischen und Kostenpotenzialen, Recycling, ökologischen und Versorgungsaspekten,
    - Innovative Antriebstechnologien (alternative Antriebe, Thermo- bzw. Klimamanagement, Verbesserung der Effizienz, Reduzierung von Reibungsverlusten, Nutzung von Abwärme, niedrige CO_2-Emissionen trotz geringer Batteriespeicherkapazität),
    - und weitergehender Optimierung der Abgasnachbehandlung.

  Dieser Forschungsbedarf wird abgebildet durch die Förderbekanntmachung „Neue Fahrzeug und Systemtechnologien“.

- Mit Blick auf rein elektrische Fahrzeuge sowie Plug-in Hybride besteht weiterer Forschungsbedarf für
    - Energiespeicherung und Ladetechnologien, Einsatz mobiler Speicher der Elektrofahrzeuge für energiewirtschaftliche Dienstleistungen, Demonstrationsprojekte für bidirektionale Ladetechnologien,
    - Materialforschung und umweltschonende Rohstoffverfügbarkeit sowie Recycling,
    - Forschung als Grundlage für den Aufbau einer großskaligen Batteriezellproduktion,
    - Antriebe für schwere Nutzfahrzeuge,
    - Erhöhung des Strombedarfs und des Anteils erneuerbarer Energien parallel mit der zunehmenden Verbreitung der Elektromobilität und
    - Forschung im Bereich intelligenter Betriebsstrategien unter Nutzung digitaler Vernetzung.

  Die Themen sind Gegenstand der Forschungsförderung im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung, des Marktanreizpakets Elektromobilität sowie der Forschungsförderprogramme „Elektropower – Positionierung der Wertschöpfungskette“ und „Elektro-mobil“.

- Mit der Förderbekanntmachung „Energiewende im Verkehr“ wird gezielt die Verknüpfung innovativer Energie- und Verkehrsträger vorangebracht. Forschungsgegenstand ist die Entwicklung von Herstellverfahren für regenerativ erzeugte Kraftstoffe sowie von Antriebstechniken zu deren optimaler Nutzung.

- Mit der Förderrichtlinie Elektromobilität unterstützt der Bund neben der Beschaffung von Fahrzeugen zur Unterstützung des Markthochlaufs u. a. die Förderung von anwendungsorienteierten Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen mit dem Ziel der Kostenreduktion von den für die Elektromobilität benötigten Technologien, Komponenten und Systemen.
- Im Kontext von Erdgas besteht Bedarf für die Erforschung der Herstellung und des Einsatzes von Fahrzeugtanksystemen im Schwerlastverkehr. Optimierung der Wechselwirkung der Kraftstoffe mit Motor und Antriebsstrang mit Fahrzeugschwerpunkten in den Bereichen
    - Verteilerfahrzeuge,
    - Kommunale Fahrzeuge und
    - Baumaschinen.
- Bestehende Synergien bspw. zwischen Wasser-Elektrolyse und Biomasse-Umwandlung sollten besser genutzt werden, wodurch Biomasse optimal als Kohlenstoff-Quelle für die Kraftstoffherstellung einsetzbar wäre. Gerade die Kombination aus Biogas und PtG bietet die Chance, diese Kohlenstoffressource effizienter zu nutzen und ca. 7000 bestehende Biogasanlagen, welche in den nächsten Jahren aus der EEG-Förderung auslaufen, eine Zukunftsperspektive über die Gaseinspeisung zu geben. Im Hinblick auf Biokraftstoffe besteht u. a. Forschungsbedarf bei der Herstellung von Bio-Methan der 2. Generation. Durch die Kombination von Vergasung, Wasser-Elektrolyse und Synthese lassen sich weitere Rohstoffe (Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft, aus Industrie und Handel) für die Herstellung gasförmiger oder flüssiger Kraftstoffe erschließen.
- Hinsichtlich der Herstellung und dem Einsatz synthetischer Kraftstoffe werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:
    - Aufbau einer Plattform für die Herstellung und Anwendung synthetischer Kraftstoffe im industriellen Maßstab, die klare Vorschläge für Rahmenbedingungen für die Produktion enthält mit Partnern aus der Industrie, sowie Beteiligungen der Vertreter der privaten und kommerziellen Verbraucher.
    - Konzeption und Vorbereitung einer bedarfsgerechten Produktion synthetischer Kraftstoffe, insbesondere durch mittelfristig zu etablierende

Demonstrationsvorhaben für die großskalige Herstellung synthetischer Kraftstoffe.

  - Entwicklung eines Konzepts zum mittel- bis langfristigen Import von synthetischen Kraftstoffen und Etablierung strategischer Partnerschaften mit Potenzialregionen im Ausland.
  - Weitere Förderung von Demonstrationsprojekten zur Vorbereitung einer bedarfsgerechten Produktion synthetischer Kraftstoffe. Hierbei kommt auch der Förderung und der wissenschaftlichen Begleitung des modellhaften Einsatzes entsprechender synthetischer Kraftstoffe - verbunden mit der Erprobung der jeweiligen System- bzw. Antriebskonzepte - im Realbetrieb eine hohe Bedeutung zu (so z. B. hinsichtlich des Einsatzes von synthetischen Kraftstoffen in kommunalen Busflotten, Fuhrparks, etc.). Fokussierung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf die wichtigsten Kraftstoffoptionen mit höchstem Potenzial. Mittelfristig sollte eine Festlegung auf wenige z. B. zwei bis drei Kraftstoffoptionen erfolgen.

- Schaffung eines anwendungs- und industrienahen Forschungs- und Entwicklungszentrums für Energiespeicher und synthetische Kraftstoffe. Netzwerk von Industrie und anwendungsnahen Forschungseinrichtungen auf den Gebieten, insbesondere Batterien und synthetische Kraftstoffe als Energiespeicher und deren Anwendung in Technologien für den Antriebsstrang der Zukunft im Rahmen der Fraunhofer-Gesellschaft (Batterie- und Speicherforschungszentrum).
- Ausgestaltung eines Forschungsprogramms für die Elektrolyse als Kernkomponente der Wasserstoffwirtschaft und der synthetischen Kraftstoffe und deren Produktionsanlagen. Deutschland kann durch einen Heimatmarkt Technologieführer für PtX bleiben, Importabhängigkeiten reduzieren und dadurch Demonstrator für Exporttechnologien werden, die global zur Bewältigung des Klimawandels notwendig werden.
- Forschungsbedarf bei Wasserstoff-Erzeugung und Distribution hinsichtlich Effizienz, wird abgebildet durch das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung und insbesondere mit dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff/Brennstoffzelle

- Demonstrationsprojekte für schwere Nutzfahrzeuge und des ÖPNV.
- Erforschung von Brennstoffzellen und Komponenten sowie der Wasserstoffspeicherung im Fahrzeug

f) Sonstige, flankierende Maßnahmen

- Vor dem Hintergrund des bevorstehenden, tiefgreifenden Strukturwandels in der Automobilindustrie und dem Mobilitätswandel in der Gesellschaft plädiert die Expertengruppe dafür, eine übergeordnete Nationale Plattform zur Zukunft der Mobilität einzurichten, die eine gesamtstrategische Betrachtung der zukünftigen Mobilität über alle Politikfelder hinweg vornimmt. Hierüber könnte der Handlungsbedarf in den Themenfeldern alternative Antriebe und Kraftstoffe (z. B. Elektromobilität, Gasmobilität, synthetische Kraftstoffe), Digitalisierung und Automatisierung, Sharing-Economy sowie systemische Verkehrsbetrachtung kontinuierlich und in gegenseitiger Abstimmung diskutiert werden.
- Kompetenzen u. a. zur Co-Finanzierung von Infrastruktur- oder Flotteninvestitionen für alternative Antriebe mit EU-Geldern (CEF, EFSI, ESIF, intereg, etc.) sollten aufgebaut und den Kommunen, Ländern und Flottenbetreibern z. B. über obige Plattform gebündelt zur Verfügung gestellt werden.
- Hierzu gehört auch die Entwicklung von Transformationsangeboten, mit denen im Wechselspiel von Industrie- und Arbeitsmarktpolitik auf der einen und der betrieblichen Strukturveränderungen auf der anderen Seite Fragen der Beschäftigungsperspektiven und Qualifikation bearbeitet werden können.
- Flankierend sollten die verschiedenen bestehenden Dialogforen, Informationskampagnen und Pilotprojekte zur Aufklärung sowie zur Erzeugung gesellschaftlicher Akzeptanz insbesondere mit Blick auf gasbasierte Mobilität und Biokraftstoffe aus Rest- und Abfallprodukten weiter gepflegt werden.
- Die Mitwirkung der Industrie sowohl von der Abnehmerseite (Automobilindustrie, Automobil-Zulieferindustrie), wie von der Erzeugerseite (Mineralölwirtschaft, Chemische Industrie, Anlagenbau, Elektrizitätswirtschaft) ist unabdingbar für den Erfolg der Maßnahmen.
- Begleitende Untersuchungen zur Ausnutzung von Effizienzpotenzialen und der damit verbundenen wirtschaftlichen Entwicklung, insbesondere hinsichtlich

der Gesamtkosten von Fahrzeugen und Mobilität, werden helfen, weitere fundierte Entscheidungsgrundlagen für Steuerungsimpulse zu entwickeln.

Anhang A: Stellungnahme des BUND

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland

BUND

FRIENDS OF THE EARTH GERMANY

Minderheitsvotum des BUND zum Abschlussbericht

Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. bedankt sich für die Möglichkeit, sich in der im Nachgang des Nationalen Forums Diesel einberufenen Expertengruppe IV 'Optimierung von Antriebstechnologien und alternative Kraftstoffe' einbringen zu können. Die bevorstehenden Herausforderungen im Bereich der Mobilität machen einen dauerhaften Austausch aller Akteure im Bereich des Antriebs der Zukunft erforderlich. Der Bericht der Expertengruppe ist dabei ein wichtiger Aufschlag für zukünftige Diskussionen.

So teilt der BUND die Auffassung, dass es in Zukunft nicht „die eine Lösung" für alle Herausforderungen im Bereich der Antriebtechnologien geben wird. Entscheidende Punkte sind die Verringerung des Rohstoff- und Energieeinsatzes der verschieden Antriebsarten, aber auch deren Schadstoffemissionen und die Auswirkung auf die Beschäftigungszahlen in dieser für dieses Land auch in Zukunft wichtigen Branche. Die politischen Weichenstellungen der nächsten Jahre werden richtungweisend hierfür sein. Dies fasst der Bericht der Expertengruppe sehr übersichtlich zusammen.

Doch obwohl in der Expertengruppe vertreten, kann der BUND diesen Bericht in wesentlichen Teilen aus folgenden Gründen nicht mittragen.

So wird mehrfach erwähnt, dass die in Folge des Diesel-Abgasskandals vollzogene Abkehr der Neuwagenkund*innen vom Dieselmotor dazu führen würde, dass die Konzerne ihre CO_2-Flottengrenzwerte in den Jahren 2021ff nicht einhalten könnten. Dass ein wesentlicher Treiber hoher CO_2-Werte aber vor allem der anhaltende Trend zu immer größeren, schwereren und leistungsstärkeren Fahrzeugen ist, bleibt im Bericht unerwähnt.

Auch Aussagen zu den angeblich geringeren Feinstaubemissionen von Benzinfahrzeugen, kann der BUND vor dem Hintergrund der massiven Feinstaubprobleme von Benzindirekteinspritzern ohne Filter nicht teilen. Dies gilt auch für die Aussagen, dass mit Einhaltung der neuen Abgasnorm Euro 6d der Diesel wieder uneingeschränkt Empfohlen werden könnte. Dies mag mit Blick auf die Einhaltung der Stickoxidgrenzwerte durchaus stimmen, aber nicht zuletzt mit Blick auf das von der Bundesregierung selbst gesteckten Klimaschutz-Sektorziel im Verkehr von minus 40-42% CO_2 in 2030, gegenüber dem Referenzjahr 1990, muss Ziel des Handelns eine Reduktion des Anteils von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren sein. Denn die niedrigere Energiesteuer für Diesel ist ein wirksamer Anreiz zum Vielfahren. Mehr Dieselfahrzeuge führen deshalb nicht zu niedrigeren CO_2-Emissionen der Pkw insgesamt. Dies muss ein solcher Bericht aus Sicht des BUND berücksichtigen.

Die als eine der Lösungen im Bericht prominent behandelte Verbrennung mit erneuerbarem Strom erzeugter synthetischer Kraftstoffe auch für Pkw hält der BUND für falsch.

Der BUND schlägt daher vor, diese Technik auf Anwendungsbereiche zu beschränken, für die keine Alternativen zur Verfügung stehen. Das sind nach aktueller Lage in erster Linie der Flug- und Schiffsverkehr. Im Pkw-Verkehr sollte die wesentlich klimaverträglichere und effizientere direkte

Stromnutzung Priorität haben. Den Einsatz synthetischer Kraftstoffe in inneffizienten Verbrennungsmotoren im Pkw-Bereich lehnen wir ebenso ab, wie deren Anrechenbarkeit auf die CO_2-Flottengrenzwerte der Hersteller.

Die Herstellung synthetischer Kraftstoffe ist sehr energieintensiv und ihr flächendeckender Einsatz würde eine massive Erhöhung der im Verkehr eingesetzten Strommengen nötig machen. Dieser Aspekt wird nach Auffassung des BUND im Bericht nicht ausreichend behandelt. Zusätzlich werden konkrete Angaben darüber vermieden, wieviel mehr Strom im Vergleich zur direkten Stromnutzung über Stromabnehmer oder Batterien, benötigt würde. Dadurch erscheint die Zukunftsoption synthetischer Kraftstoff attraktiver, als sie es in der Realität ist.

Der BUND schlägt in diesem Zusammenhang vor, konkrete Zahlen zum Strommehrbedarf beim Einsatz synthetischer Kraftstoffe im Vergleich zur direkten Stromnutzung in den Bericht aufzunehmen.

Die Produktion von strombasierten, synthetischen Kraftstoffen ist aus klimaschutzgründen nur dann zu empfehlen, wenn der erneuerbare Strom nicht direkt genutzt werden kann. Eine ökonomische Herstellung strombasierter, synthetischer Kraftstoffe aus erneuerbarem Strom ist aktuell im Forschungsstadium. Bereits jetzt von einer 'Markteinführung' oder einer 'bedarfsgerechten Produktion' zu sprechen, weckt zum einen falsche Hoffnungen auf eine einfache Lösung, verkennt zum anderen aber die Vielzahl von wirtschaftlichen in politischen Hürden. Der Verweis darauf, dass synthetische Kraftstoffe im großen Stil importiert werden müssten, beispielsweise aus Nordafrika, lässt die Dimension der möglichen Hindernisse erahnen.

Auch die Annahmen im Bereich der sogenannten Biokraftstoffe sind nach Ansicht des BUND zu optimistisch. Bei Agrotreibstoffen aus 'Reststoffen' müssen bestehende Konkurrenzen zu anderen stofflichen Nutzung in andere Bereiche wie beispielsweise der Hausfeuerung oder Wärmedämmung betrachtet werden. Darüber hinaus müssen Belange des Umwelt und Naturschutzes beachtet und negative Folgen der vermehrten Entnahme aus dem Stoffkreislauf, die dann durch zusätzlichen Einsatz von Düngemitteln kompensiert werden müssten, berücksichtigt werden.

Aus Sicht des BUND müssen solche Nutzungskonkurrenzen im Bericht deutlich aufgezeigt werden und die Erarbeitung einer Strategie der Bundesregierung angeregt werden, den zukünftigen Herausforderungen in diesem Bereich zu begegnen.

Auch das Bundeswirtschaftsministerium betont immer wieder die Notwendigkeit von „efficiency first" im Verkehrssektor. Nimmt man diese richtige und wichtige Forderung ernst, sind massive Anstrengungen der Verkehrsvermeidung und Verlagerung nötig, weil der immer noch zunehmende Energiehunger des Verkehrs, zumal mit wertvollen, regenerativen Quellen, nicht zu befriedigen ist. Es müsste sonst ein Mehrfaches des heutigen Gesamtstrombedarfs als EE-Strom allein für den Verkehr erzeugt werden.

Deshalb schlägt der BUND vor, auch konkrete Ziele zur Verkehrsvermeidung in den Bericht aufzunehmen.

Der BUND wird weiterhin an einem strategischen Dialog zur Zukunft der Mobilität und der darin verbleibenden Rolle der Autoindustrie mitwirken. Dieser muss aber weiter gehen als die aktuell dominierende Diskussion über Antriebstechniken und alternative Kraftstoffe. Denn die Antriebstechnik ist abhängig von den Anforderungen in einem auf den Klimaschutz und eine

1

nachhaltige Mobilität ausgerichteten Gesamtverkehrssystem. Eine Konzentration einzig auf autonom fahrende, geteilte und elektrifizierte Fahrzeuge ist nicht zielführend. Die Diskussion über Antriebstechnologien der Zukunft, muss eingebettet sein in ein Szenario mit dem in Deutschland „mehr Mobilität mit weniger Energie verbrauchendem Verkehr" möglich wird.

Für den BUND:

Prof. Dr. Hubert Weiger, 1.Vorsitzender des BUND

Richard Mergner, stv. Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirats des BUND

Jens Hilgenberg, Verkehrsexperte des BUND

1

Anhang B: Mitglieder der Experten AG IV

Vorsitzender:	
Herr Staatssekretär Matthias Machnig	BMWi
Ko-Vorsitzender:	
Roman Zitzelsberger	IG Metall
Herr Prof. Dr. Manfred Aigner	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Herr Prof. Dr. Christian Beidl	TU Darmstadt
Herr Dr. Peter Cammerer	Betriebsrat BMW
Herr Prof. Dr. Horst Friedrich	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Frau Kristina Haverkamp	Deutsche Energie Agentur
Herr Prof. Eckard Helmers	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
Herr Frank Iwer	IG-Metall
Frau Marion Jungbluth	Verbraucherzentrale Bundesverband
Herr Prof. Dr. Achim Kampker	RWTH Aachen
Herr Prof. Dr. Thomas Koch	Karlsruher Institut für Technologie
Herr Prof. Dr. Stefan Pischinger	RWTH Aachen
Herr Prof. Dr. Ralph Pütz	Hochschule Landshut
Herr Dr. Dirk Rosenau-Tornow	Betriebsrat VW
Herr Prof. Dr. Jörg Sauer	Karlsruher Institut für Technologie
Herr Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer	RWTH Aachen
Herr Prof. Dr. Ferdi Schüth	Max Planck Gesellschaft Mülheim
Herr Dr. Jacob Seiler	Verband der Automobilindustrie e.V.
Herr Prof. Dr. Michael Sterner	OTH Regensburg

Teilnehmende Bundesressorts:	BMWi, BK-Amt, BMVI, BMUB, BMF, BMJV und BMBF
Vertreter verschiedener Ressorts der Länder:	Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Bremen, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Sachsen

Anhang C: Tagesordnungen der Experten AG IV

Tagesordnung der 1. Sitzung

der Expertengruppe IV
„Optimierung von Antriebstechnologien und alternative Kraftstoffe"
am 14. September 2017, 9:00 Uhr bis 13:00 Uhr,
im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

1. Eröffnung und Begrüßung

Staatssekretär Matthias Machnig, BMWi

Roman Zitzelsberger, IG Metall (Co-Vorsitzender)

2. „Optimierung von Antriebstechnologien"

Beitrag von **Prof. Horst Friedrich,** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Leiter des Instituts für Fahrzeugkonzepte zum Thema „Elektromobilität und Brennstoffzelle"

Beitrag von **Prof. Christian Beidl,** Institutsleiter des Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Fahrzeugantriebe, TU Darmstadt, zum Thema „Optimierung von Verbrennungsmotoren"

mit anschließender Diskussion

3. „Alternative Kraftstoffe"

Beitrag von **Prof. Thomas Koch,** Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Leiter des Instituts für Kolbenmaschinen, zum Thema „Potentiale von alternativen Kraftstoffen"

Beitrag von **Prof. Michael Sterner** Professor für Energiespeicher an der OTH Regensburg, zum Thema „Aspekte der Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit von alternativen Kraftstoffen in der Mobilität"

mit anschließender Diskussion

4. Zusammenfassung und weitere Schritte

Tagesordnung der 2. Sitzung

der Expertengruppe IV
„Optimierung von Antriebstechnologien und alternative Kraftstoffe“
am 10. Oktober 2017, 15:00 Uhr bis 18:00 Uhr,
im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

1. Eröffnung und Begrüßung

Matthias Machnig, Staatssekretär im BMWi
Roman Zitzelsberger, IG Metall (Co-Vorsitzender)

2. „Optimierung von Antriebstechnologien“

Beiträge von Vertretern der Fahrzeughersteller:

Dr. Ulrich Eichhorn (Volkswagen AG, Leiter Konzern Forschung und Entwicklung)

Albrecht Jungk (BMW Group, Steuerung Politik und Außenbeziehungen, Kommunikation Nachhaltigkeit)

Bernhard Heil (Daimler AG, Leiter Produktgruppe Powertrain der Mercedes-Benz Cars Development)

mit anschließender Diskussion

3. „Alternative Kraftstoffe“

Beiträge von Vertretern der Mineralölwirtschaft:

Dr. Gerd Hagenow (Shell Technology Center Hamburg, Senior Tech Expert Fuels and Innovation

Dr. Ralf Stöckel (TOTAL Deutschland GmbH, Advisor New Energies/ Sustainable Development)

mit anschließender Diskussion

4. Diskussion über mögliche Handlungsempfehlungen

5. Zusammenfassung und weitere Schritte

Tagesordnung der 3. Sitzung

der Expertengruppe IV
„Optimierung von Antriebstechnologien und alternative Kraftstoffe“
am 16.11.2017, 13 Uhr bis 16:30 Uhr,
im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

1. Eröffnung und Begrüßung

Matthias Machnig, Staatssekretär im BMWi
Roman Zitzelsberger, IG Metall (Co-Vorsitzender)

2. Vorstellung und ausführliche Diskussion des Berichtentwurfs

3. Zusammenfassung und weitere Schritte

Telefonkonferenz zur weiteren Abstimmung und Finalisierung des Berichts

der Expertengruppe IV
„Optimierung von Antriebstechnologien und alternative Kraftstoffe“
am 29.11.2017, 15 Uhr bis 16 Uhr

Anhang D: Quellenangaben

1. Statistisches Bundesamt (2017) Monatsbericht über die Elektrizitätsversorgung. https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Energie/Erzeugung/Tabellen/BilanzElektrizitaetsversorgung.html. Accessed 09 Nov 2017
2. Albrecht U, Patrick S, Weindorf W et al. (2013) Zukünftige Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren und Gasturbinen. Abschlussbericht, Frankfurt
3. Gerhardt N, Pfenning M, Pape C et al. (2017) Mittel- und langfristige Potenziale von PtL- und H2-Importen aus internationalen EE-Vorzugsregionen. Teilbericht, Kassel
4. Kaltschmitt M, Hartmann H, Hofbauer H (eds) (2009) Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren, 2., neu bearb. und erweiterte Aufl. Springer, Berlin
5. Kreyenberg D, Lischke A, Bergk F et al. (2015) Erneuerbare Energien im Verkehr Potenziale und Entwicklungsperspektiven verschiedener erneuerbarer Energieträger und Energieverbrauch der Verkehrsträger
6. Müller-Syring G, Henel M, Köppel W et al. (2013) Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz, Leipzig
7. OECD, IEA (2011) Biofuels for transport Roadmap, Paris
8. Schmied M, Wüthrich P, Zah R et al. (2015) Postfossile Energieversorgungsoptionen für einen treibhausgasneutralen Verkehr im Jahr 2050. Eine verkehrsträgerübergreifende Bewertung. Texte / Umweltbundesamt, 30/2015. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
9. Specht M, Zuberbühler U (2013) Thermochemische Biomassekonversion. Das AER-Verfahren, Stuttgart
10. Sterner M, Stadler I (eds) (2017) Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration, 2nd edn. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, s.l.
11. Trost T (2016) Erneuerbare Mobilität im motorisierten Individualverkehr. Modellgestützte Szenarioanalyse der Marktdiffusion alternativer Fahrzeugantriebe und deren Auswirkungen auf das Energieversorgungssystem. Dissertation, Universität Leipzig
12. van Basshuysen R, Schäfer F (eds) (2017) Handbuch Verbrennungsmotor. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven. ATZ / MTZ-Fachbuch. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, s.l.
13. Winkler-Goldstein R, Rastetter A (2013) Power to Gas. The Final Breakthrough for the Hydrogen Economy? Green 3(1). doi: 10.1515/green-2013-0001