

cep**Studie**

Kraftstoffe der Zukunft

Durchsetzung alternativer Antriebssysteme im Wettbewerb

Jan S. Voßwinkel, Nima Nader & Johanna Block

November 2012

Erstellt im Auftrag der Daimler AG

Centrum für Europäische Politik (CEP)
Kaiser-Joseph-Straße 266 | 79098 Freiburg
Telefon 0761 38693-0 | www.cep.eu

Kernpunkte

- ▶ Technische Alternativen zum Antrieb von Straßenfahrzeugen sind sowohl aus Gründen knapper werdender fossiler Rohstoffe als auch aufgrund der Klimaschutzziele der EU zukünftig erforderlich.
- ▶ Auf der Grundlage der derzeit eingesetzten Antriebstechnologien lässt sich durch Maßnahmen zur Effizienzsteigerung wie Downsizing, neue Brennverfahren und hybride Antriebssysteme der Kraftstoffverbrauch reduzieren. Allerdings können dadurch Emissionen und Kraftstoffverbrauch auf lange Frist nicht hinreichend reduziert werden.
- ▶ Erdgas, Autogas, Flüssiggas, Synthetische Flüssigbrennstoffe und Biokraftstoffe sind alternative Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren mit jeweils unterschiedlichen Vorzügen in Bezug auf die Abkoppelung von fossilen Rohstoffen und das Klimaschutzziel.
- ▶ Elektromobilität und die Nutzung von Wasserstoff in Brennstoffzellen stellen langfristige technische Alternativen dar. Die CO₂-Bilanz einer Ausweitung der Elektromobilität und der Nutzung von Wasserstoff wird dabei letztlich durch den Carbon-Leakage-Effekt des Emissionsrechtehandels bestimmt.
- ▶ Die technologische Entwicklung sollte politisch durch Grundlagenforschung flankiert werden. Allerdings muss vermieden werden, dass durch politisch bestimmte Vorauswahl erfolgversprechender Technologien eine ineffiziente Pfadabhängigkeit der Technologieentwicklung erzeugt wird.
- ▶ Als geeignetes Instrument für eine effiziente Klimaschutzpolitik sollte der Emissionsrechtehandel auch auf den Straßenverkehr ausgedehnt werden. Dieser ermöglicht einen technologieneutralen und sektorübergreifenden Ansatz, um ein gegebenes Klimaschutzziel effizient zu erreichen. Solange es keinen weltweiten Konsens über die Klimaschutzpolitik gibt, sind einer effizienten Klimaschutzpolitik in der EU allerdings politische Grenzen gesetzt.

Inhaltsverzeichnis

Kernpunkte.....	1
1 Einleitung.....	3
2 Technische Alternativen.....	4
2.1 Effizienzsteigerungen	4
2.2 Erdgas (CNG)	5
2.2.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften.....	5
2.2.2 Klimapolitisches Potenzial	5
2.3 Autogas (LPG)	7
2.3.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften.....	7
2.3.2 Klimapolitisches Potenzial	7
2.4 Flüssiggas (LNG).....	8
2.4.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften.....	8
2.4.2 Klimapolitisches Potenzial	8
2.5 Synthetische Flüssigbrennstoffe (GtL und CtL)	8
2.5.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften.....	8
2.5.2 Klimapolitisches Potenzial	9
2.6 Biokraftstoffe der 1. Generation: Biodiesel und Bioethanol.....	9
2.6.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften.....	9
2.6.2 Klimapolitisches Potenzial	9
2.7 Biokraftstoffe der 2. Generation: Biomass-to-Liquids (BtL) und Lignocellulose-Ethanol	10
2.7.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften.....	10
2.7.2 Klimapolitisches Potenzial	10
2.8 Elektroantrieb	11
2.8.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften.....	11
2.8.2 Klimapolitisches Potenzial	13
2.9 Wasserstoff.....	13
2.9.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften.....	13
2.9.2 Klimapolitisches Potenzial	14
2.10 Fazit: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile alternativer Kraftstoffe	15
3 Wirtschaftspolitischer Handlungsbedarf.....	18
3.1 Berücksichtigung der Kosten von CO ₂ -Emissionen.....	18
3.2 Ausbau und Umrüstung des Betankungsnetzes.....	20
3.3 Öffentliche Mittel zur Grundlagenforschung.....	21
4 Fazit.....	22

1 Einleitung

Die Verkehrssektoren in Deutschland und Europa beziehen derzeit über 90% ihrer Energie aus fossilen Kraftstoffen.¹ Diese konventionellen Kraftstoffe weisen eine hohe Energiedichte auf, die erforderliche Infrastruktur ist global vorhanden.² Allerdings wird der Preis für fossile Kraftstoffe voraussichtlich aufgrund des endlichen Vorkommens von Rohöl langfristig tendenziell ansteigen. Auch wenn exakte Schätzungen eines Fördermaximums kaum möglich sind, ist perspektivisch mit einer Reduktion der weltweiten Rohölförderung zu rechnen.³ Bei der Verbrennung von Diesel und Benzin entstehen außerdem CO₂-Emissionen. Dies läuft den globalen und europäischen Klimaschutzzielen entgegen. Die EU hat sich das Ziel gesetzt, bis 2050 die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor um 60% zu reduzieren.⁴ Der Anteil des Verkehrs an den gesamten Treibhausgasemissionen (THG) innerhalb der EU beträgt rund 23%⁵, wobei dem Straßenverkehr im Vergleich der verschiedenen Verkehrsträger der mit Abstand größte Anteil von ca. 70%⁶ zukommt. In Deutschland liegt der Verkehrsanteil insgesamt bei 20,5%, wobei der Straße 19,5% zukommen.⁷ Um einer weiteren Verteuerung von Mobilität und Transport entgegenzuwirken und die politisch gewollten Klimaschutzziele einzuhalten, müssen sich deshalb langfristig Antriebs- und Kraftstoffalternativen etablieren.

Freiburg, im November 2012

Dr. Jan S. Voßwinkel,

Fachbereichsleiter
Centrum für Europäische Politik (CEP)

Nima Nader und Johanna Block

Wissenschaftliche Referenten
Centrum für Europäische Politik (CEP)

¹ Vgl. Umweltbundesamt (2011): Kraftstoffverbrauch, abrufbar unter: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodent=2330> [19.06.2012] und Die Grünen (2006): Maßnahmen für eine klimafreundliche Verkehrspolitik in Europa, abrufbar unter: http://www.forum-nachhaltige-regionen.net/download_de/Cramer_MobilityPaperSummary_DE.pdf [19.06.2012].

² Vgl. International Energy Agency (2009): Transport, Energy, and CO₂ – Moving Toward Sustainability, S. 83, abrufbar unter: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2009/transport2009.pdf> [19.06.2012].

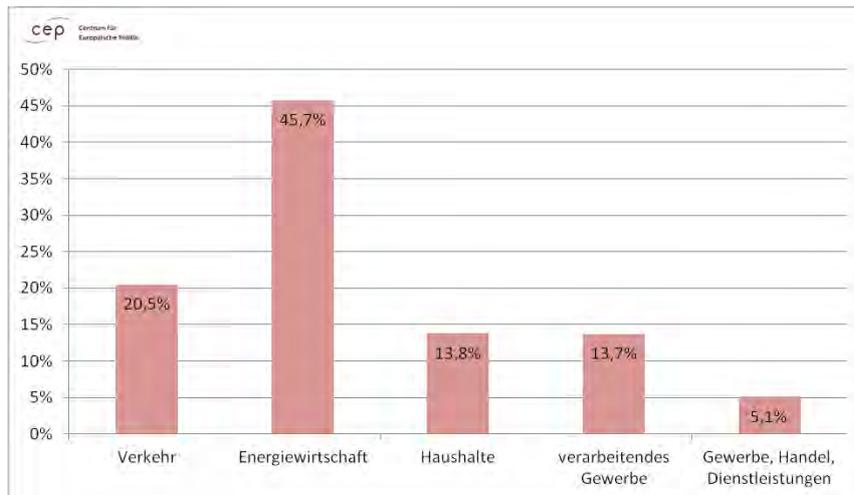
³ Laut Schätzungen der International Energy Agency wird mit 96 Megabarrel Öl pro Tag das Fördermaximum in den 2030er Jahren erreicht sein. Vgl. dazu International Energy Agency (2010): World Energy Outlook, S. 7, abrufbar unter: <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weo2010.pdf> [19.06.2012].

⁴ Vgl. Europäische Kommission, Weißbuch KOM(2011) 144: Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem S. 5.

⁵ Vgl. European Environment Agency (2007), zitiert nach: Treibhausgase – Verkehr in Argumentationsnot, abrufbar unter: http://www.logkompass.de/fileadmin/user_upload/pdf/blickpunkt/blickpunkt-3.pdf [25.09.2012].

⁶ Vgl. Heymann, Eric (2009): Automobilindustrie am Beginn einer Zeitenwende, Deutsche Bank Research, Frankfurt a.M., S. 2f.

⁷ Vgl. Umweltbundesamt (2011): Emissionsberichterstattung der Bundesrepublik Deutschland 2011, CRF-Tabellen 1990-2009, abrufbar unter: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadPrint.do?ident=22375> [25.09.2012].

Abbildung 1: Energiebedingte CO₂-Emissionen in Deutschland 2009⁸

2 Technische Alternativen

2.1 Effizienzsteigerungen

Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen können zunächst kurz- und mittelfristig durch Effizienzsteigerungen reduziert werden.⁹ Eine Möglichkeit, den Verbrauch konventionellen Treibstoffes effizienter zu gestalten, besteht z. B. im sog. „Downsizing“ von Motoren. So kann der Hubraum eines Fahrzeugs verkleinert oder der Motor „aufgeladen“ werden, indem durch Zuführung von Luft mit erhöhtem Druck die Leistung von Verbrennungsmotoren gesteigert wird.

Auch neue Brennverfahren sind als mittelfristige Lösung denkbar. Mittels „homogener Verbrennung“ – einer Mischung aus Otto- und Dieselmotor – ist es möglich, die positiven Eigenschaften beider Antriebssysteme nutzbar zu machen.¹⁰ Darüber hinaus sind auch beim Dieselantrieb grundsätzlich weitere Effizienzverbesserungen möglich: Stickoxid-Speicherkatalysatoren und sog. SCR-Systeme¹¹ mit AdBlue verringern den Stickstoffausstoß von Dieselmotoren. AdBlue ist eine verdünnte Harnstofflösung, die vor dem SCR-Katalysator in den Abgasstrang eingespritzt wird. Daraus entstehen mittels Hydrolyse CO₂ und Ammoniak, das mit den Stickoxiden im Abgas reagieren kann, sodass der Stickstoffausstoß reduziert wird („Clean Diesel“).

Maßnahmen zur Effizienzsteigerung wie Downsizing und neue Brennverfahren sind allein nicht in der Lage, Emissionen und Kraftstoffverbrauch auf lange Frist zu reduzieren. Es handelt sich dabei um kurzfristig durchführbare Maßnahmen, die zwar durchaus Vorteile mit sich bringen, jedoch nicht in der Lage sind, die angestrebten Ziele bei der Reduktion der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr und die Verringerung der Abhängigkeit von Rohölvorkommen in hinreichendem Ausmaß zu realisieren. Bereits heute kommen deshalb eine Reihe alternativer Kraftstoffe im Straßenverkehr zum Einsatz.

⁸ Vgl. Bundesumweltamt (2011): Energiebedingte CO₂-Emissionen in Deutschland im Jahr 2008: Verkehr im Vergleich zu anderen Quellgruppen, abrufbar unter: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=22375> [12.11.2012].

⁹ Vgl. Verordnung (EU) Nr. 510/2011 vom 11.05.2011 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue leichte Nutzfahrzeuge im Rahmen des Gesamtkonzepts der Union zur Verringerung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen sowie Verordnung (EG) Nr. 443/2009 vom 23.04.2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen.

¹⁰ Vgl. Verband der Automobilindustrie (2009): Antriebe und Kraftstoffe der Zukunft, S. 11.

¹¹ SCR steht für selektive katalytische Reduktion.

2.2 Erdgas (CNG)

2.2.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften

Die weltweiten Vorkommen von Erdgas sind im Vergleich zu Rohöl wesentlich höher. Erdgas wird in Deutschland zum Großteil importiert, nur ca. 16% des Bedarfs können durch eigene Vorkommen gedeckt werden. Die wichtigsten Bezugsquellen für Erdgas in Deutschland sind heute Russland (33%), Norwegen (29%), die Niederlande (22%) sowie Dänemark und Großbritannien (ca. 6%).¹² Erdgas macht derzeit einen Anteil von 24% des Weltprimärenergieverbrauchs aus und befindet sich damit an dritter Stelle hinter Erdöl und Kohle.¹³ In Europa werden ca. 71% des Erdgases zur Erzeugung von Heiz- und Prozesswärme in Wohnungen und der Industrie eingesetzt. Ungefähr 29% dienen der zentralen Strom- und Wärmeerzeugung in Kraft- und Heizwerken. Auf den Verkehrssektor entfallen derzeit nur knapp 0,1% des europäischen Gasbedarfs.¹⁴ Italien und Deutschland verzeichnen als einzige unter den EU-Mitgliedstaaten momentan nennenswerte Bestände an erdgasbetriebenen Fahrzeugen.¹⁵ Komprimiertes Erdgas (Compressed Natural Gas, CNG) weist ähnliche Verbrennungseigenschaften wie Benzin auf, sodass konventionelle Ottomotoren zu Erdgasmotoren umgerüstet werden können.¹⁶

Die Akzeptanz von Erdgasfahrzeugen in Deutschland fällt bisher allerdings gering aus. Zwar begünstigt das deutsche Energiesteuergesetz Erdgas und Autogas (s. 2.3) noch mindestens bis zum Jahr 2018 steuerlich¹⁷, sodass der Kunde gegenüber vergleichbaren Benzinfahrzeugen beim Tanken rund 50% spart. Dennoch muss er beim Fahrzeugkauf zunächst in Vorleistung gehen: Der Aufpreis liegt bei ca. 2.500 bis 5.000 Euro je nach Modell.¹⁸ Außerdem werden beliebte Volumenmodelle derzeit häufig noch nicht als Erdgasvarianten produziert. Attraktivitätseinbußen für den Endverbraucher ergeben sich auch durch die deutlich geringere Reichweite: Sie beträgt ungefähr die Hälfte im Vergleich zu Benzinern und Dieselantrieben.

2.2.2 Klimapolitisches Potenzial

CNG besitzt im Vergleich zu allen anderen fossilen Kraftstoffen das größte Potenzial zur Reduktion von Treibhausgasen.¹⁹ So werden bei der Verbrennung von CNG rund 20% weniger CO₂ emittiert als bei Benzin. Im Vergleich zu konventionellem Diesel fällt der Emissionsvorteil mit 14% etwas geringer aus.²⁰ Erdgasantriebe weisen eine bis zu 90% bessere Bilanz als Dieselmotoren beim

¹² Vgl. Deutsche Energie-Agentur (2011): Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix. Handlungsbedarf und Lösungen für eine beschleunigte Etablierung im Verkehr, Berlin, S. 15, abrufbar unter: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Verkehr/Dokumente/Erdgas_und_Biomethan_im_kA1_4nftigen_Kraftstoffmix.pdf [12.11.2012].

¹³ Vgl. ebd., S. 15.

¹⁴ Vgl. Hobohm, Jens (2008): Mehr Erdgas für den Klimaschutz? Chancen und Risiken einer erweiterten Erdgasstrategie für die europäische Energieversorgung (Stiftung Wissenschaft und Politik), Berlin, S. 8.

¹⁵ Vgl. ebd., S. 8.

¹⁶ Vgl. Dudenhöffer, Ferdinand & Pietron, Kai (2011): Erdgas als automotiver Kraftstoff für Europa: Sind 5%+ Marktanteil für Europa möglich? Notwendige Schritte und Aktivitäten (CAR Center Automotive Research), 2. Auflage, Duisburg, S. 6.

¹⁷ Vgl. § 2Abs. 7.1Energiesteuergesetz, abrufbar unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/energiestg/gesamt.pdf> [09.11.2012].

¹⁸ Vgl. Handelsblatt vom 14.02.2012: Die unbeliebten Sparschweine, abrufbar unter: <http://www.handelsblatt.com/auto/test-technik/erdgasautos-schonem-portemonnaie-und-umwelt-die-unbeliebten-sparschweine/6206952.html> [12.11.2012].

¹⁹ Vgl. Vgl. Dudenhöffer, Ferdinand & Pietron, Kai (2011): Erdgas als automotiver Kraftstoff für Europa: Sind 5%+ Marktanteil für Europa möglich? Notwendige Schritte und Aktivitäten (CAR Center Automotive Research), 2. Auflage, Duisburg, S. 7.

²⁰ Vgl. Ramesohl, Stephan et al. (2003): Bedeutung von Erdgas als neuer Kraftstoff im Kontext einer nachhaltigen Energieversorgung (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie), Wuppertal, S. 8.

Ausstoß von Stickoxiden auf.²¹ Die Emission von Kohlenmonoxid sinkt bei CNG um bis zu 70% im Vergleich zur Benzinverbrennung; Feinstaub wird so gut wie gar nicht ausgestoßen.²² Diese kraftstoffspezifischen Vorteile von CNG müssen jedoch zum momentanen Zeitpunkt aufgrund der bislang noch hohen Kraftstoffverbrauchswerte der Erdgasmotoren relativiert werden. Im Bereich der Gasmotorenteknik besteht demnach noch Optimierungsbedarf.²³

Abbildung 2: Emissionsreduktion von Erdgasfahrzeugen im Vergleich zu Dieselfahrzeugen²⁴:

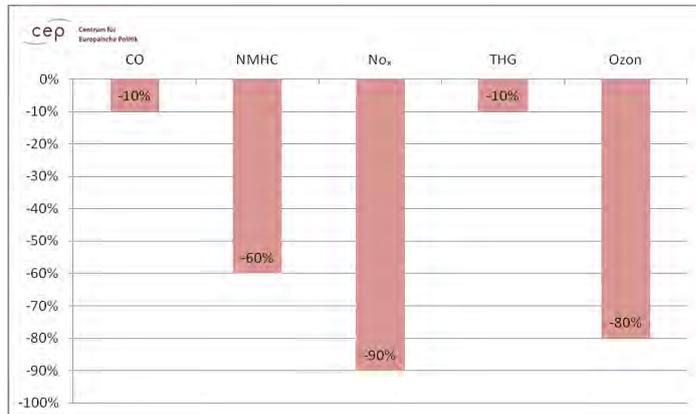
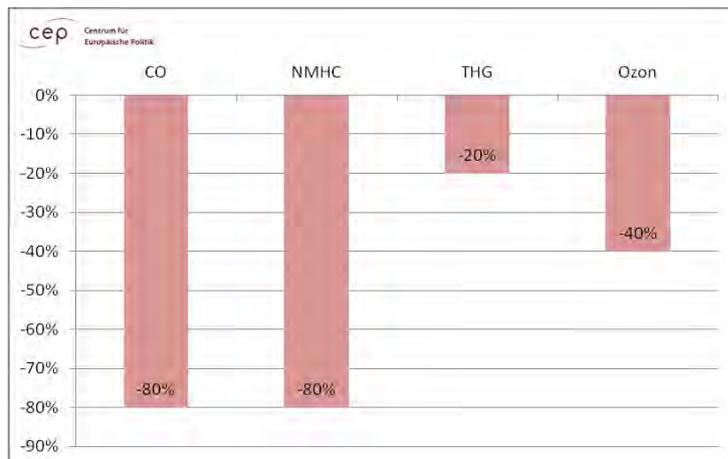


Abbildung 3: Emissionsreduktion von Erdgasfahrzeugen im Vergleich zu Benzinfahrzeugen²⁵



Geht man von den EU-Zielvorgaben von 10% Erdgasfahrzeuganteil im Jahr 2020 aus²⁶, könnten die Treibhausgasemissionen um gut 2% gesenkt werden, vorausgesetzt, dieser Anteil bezieht sich

²¹ Vgl. Vgl. Dudenhöffer, Ferdinand & Pietron, Kai (2011): Erdgas als automotiver Kraftstoff für Europa: Sind 5%+ Marktanteil für Europa möglich? Notwendige Schritte und Aktivitäten (CAR Center Automotive Research), 2. Auflage, Duisburg, S. 8.

²² Vgl. Handelsblatt online: Die unbeliebten Sparschweine, 14.02.2012, abrufbar unter: <http://www.handelsblatt.com/auto/test-technik/erdgasautos-schonem-portemonnaie-und-umwelt-die-unbeliebten-sparschweine-seite-all/6206952-all.html> [27.06.2012]. Außerdem kann die Lärmbelastung durch die Nutzung von Erdgasfahrzeugen um bis zu 50% reduziert werden. Vgl. Dudenhöffer & Pietron (2011), S. 8 und DENA (2011): Erdgas und Biometan im künftigen Kraftstoffmix-Handlungsbedarf und Lösungen für eine beschleunigte Etablierung im Verkehr, Berlin, S. 13.

²³ Vgl. Mischner, Jens / Förster, Fanny / Kraft, Björn / Heimann, Syrko. (2007): Zur Ökoeffizienz von Erdgasfahrzeugen. In: GWF Gas Erdgas 148 (7-8), S. 428-433, hier S. 432, abrufbar unter: http://erdgasfahrzeuge.sw-magdeburg.de/ContentFilesMantel/Downloads/oekoeffizienz_2007.pdf [12.11.2012].

²⁴ Quelle: Vgl. Dudenhöffer, Ferdinand & Pietron, Kai (2011): Erdgas als automotiver Kraftstoff für Europa: Sind 5%+ Marktanteil für Europa möglich? Notwendige Schritte und Aktivitäten (CAR Center Automotive Research), 2. Auflage, Duisburg, S. 7.

²⁵ Quelle: ebd., S. 7.

auch auf den tatsächlich gefahrenen Verkehr und nicht nur auf den Fahrzeugbestand. Damit fiel der Klimaschutzbeitrag zwar positiv aus, die tatsächliche Wirkung bliebe aber relativ gering. Die Reduktion der CO₂-Emissionen auf ein tatsächlich klimaschützendes Niveau bis 2020 kann deshalb allein durch den Wechsel zu Erdgas nicht geleistet werden, wenn es bei dem angestrebten Anteil von Erdgasfahrzeugen bleibt.²⁷

2.3 Autogas (LPG)

2.3.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften

Ein weiteres Gas, das im Verkehrssektor eingesetzt werden kann, ist das sog. „Autogas“ (Liquefied Petroleum Gas, LPG). Es handelt sich dabei um ein Abfallprodukt, das sowohl bei der Förderung von Erdgas und Erdöl als auch bei der Raffinierung von Erdöl entsteht.²⁸ Aufgrund seiner höheren Energiedichte kann ein Fahrzeug mit Autogas eine größere Entfernung als mit Erdgas zurücklegen.²⁹

2.3.2 Klimapolitisches Potenzial

Die Endlichkeit des Rohölaufkommens setzt der Zukunftsfähigkeit von LPG-Fahrzeugen deutliche Grenzen. Darüber hinaus ist aus klimapolitischer Sicht zu beachten, dass perspektivisch aufgrund der Endlichkeit der Erdölvorkommen mit längeren Transportwegen zu rechnen ist

Ein mit CNG betriebener PKW ist deutlich emissionsärmer als ein LPG-betriebener einer vergleichbaren Klasse und spart im Verbrauch dreimal mehr Treibhausgase ein.³⁰ Richtet man den Blick jedoch auf den gesamten Lebenszyklus („Well-to-Wheel“) und berücksichtigt dabei auch die jeweiligen Bereitstellungswege von CNG und LPG, ergibt sich ein differenzierteres Bild. Das Potenzial von CNG zur Einsparung von CO₂-Emissionen hängt demnach stark von der Länge des Bereitstellungsweges ab: So fällt das CO₂-Reduktionspotenzial von CNG aufgrund der für den Transport benötigten Energie bei einer Entfernung von 2.680 km unter das LPG-Niveau.³¹ Bei einem mittleren Bereitstellungsweg von 2.680 km sind die Einsparungen beider Antriebsformen für durchschnittliche Fahrzeuge identisch und produzieren ca. 27 gCO₂/km weniger als ein durchschnittlicher Benzinantrieb.

²⁶ Vgl. Europäische Kommission, Mitteilung KOM(2001)547 vom 07.11.2001 über alternative Kraftstoffe für den Straßenverkehr und ein Bündel von Maßnahmen zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen, S. 14. Der Anteil von Biokraftstoffen soll demnach 8%, von Wasserstoff 5% bis 2020 betragen.

²⁷ Vgl. Rahmesol, Stephan / Marten, Frank / Fishedick, Manfred / vor der Brüggen, Tobias (2003): Bedeutung von Erdgas als neuer Kraftstoff im Kontext einer nachhaltigen Energieversorgung, Wuppertal, S. 8 ff.

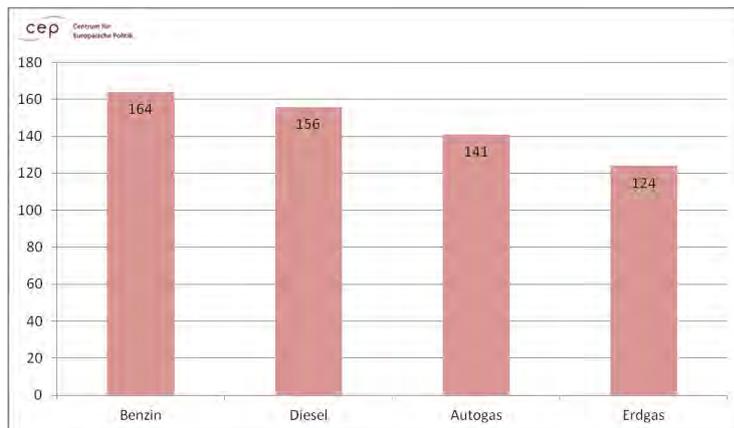
²⁸ Vgl. http://www.exceptionalenergy.com/en_GB/what-is-lpg/origin [20.06.2012].

²⁹ Vgl. Deutscher Verband Flüssiggas (2004): Autogas und Erdgas im wissenschaftlichen Vergleich, abrufbar unter: <http://www.dvfg.de/de/infothek/presstexte/dvfg---pressemitteilungen/autogas-und-erdgas-im-wissenschaftlichen-vergleich.html> [19.06.2012].

³⁰ Vgl. Stiller, Christoph / Schmidt, Patrick / Weindorf, Werner / Mátra, Zsolt. (2010): CNG and LPG for Transport in Germany. Environmental Performance and Potentials for GHG Emission Reductions until 2020 (Ludwig Bölkw Systemtechnik GmbH), München/Ottobrunn, S. xiii, abrufbar unter: http://www.lbst.de/ressources/docs2011/LBST_2010_CNG_LPG_Study.pdf [12.11.2012].

³¹ Vgl. Heinze, Thomas & Butnaru, Claudius (2012): Well-to-Whell- (WTW) Analysen von Gasfahrzeugen (überarbeitete Version), Deutscher Verband Flüssiggas e.V., Saarbrücken, S. 22.

Abbildung 4: Treibhausgasemissionen fossiler Kraftstoffe Well-to-Wheel (WTW) in gCO₂-Äquivalent³²



2.4 Flüssiggas (LNG)

2.4.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften

Erdgas kann durch Abkühlung auf -162°C verflüssigt werden. Im Gegensatz zum gasförmigen Erdgas, das auf Pipelines angewiesen ist, kann verflüssigtes Erdgas (Liquefied Natural Gas, LNG) in Tankschiffen über weite Entfernungen transportiert werden. Zwischen 1995 und 2005 ist zwar eine Verdopplung des weltweiten Handels mit Flüssiggas zu verzeichnen gewesen, der weltweite Anteil am Erdgasbedarf betrug dabei jedoch lediglich 7%.

2.4.2 Klimapolitisches Potenzial

Die Prozesse zur Verflüssigung im Exportland und Regasifizierung im Zielland erfordern eine aufwendige Infrastruktur, die derzeit noch nicht ausreichend vorhanden ist.³³ Dennoch birgt LNG Zukunftspotenzial. Gerade im Nutzfahrzeugbereich erweist sich Flüssiggas als noch leistungsfähiger als sein gasförmiges Pendant. So ermöglicht die höhere Dichte von Flüssiggas Reichweiten von über 1.000 km. Besonders für die Transportindustrie könnte sich eine Umstellung auf Flüssiggas deshalb langfristig bezahlt machen.³⁴

2.5 Synthetische Flüssigbrennstoffe (GtL und CtL)

2.5.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften

Neben Gasen ist grundsätzlich auch die Verwendung synthetischer Flüssigbrennstoffe, wie z.B. Flüssigbrennstoffe aus Gas (Gas-to-Liquid, GtL) und Kohle (Coal-to-Liquid, CtL) möglich. Die jeweiligen Rohstoffe werden durch thermo-chemische Konversion zu Rohgas, danach durch Gasreinigung und -konditionierung in ein Synthesegas umgewandelt, welches wiederum mit Hilfe der

³² Quelle: Vgl. Dudenhöffer, Ferdinand & Pietron, Kai (2011): Erdgas als automotiver Kraftstoff für Europa: Sind 5%+ Marktanteil für Europa möglich? Notwendige Schritte und Aktivitäten (CAR Center Automotive Research), 2. Auflage, Duisburg, S. 7.

³³ Vgl. Vgl. Hobohm, Jens (2008): Mehr Erdgas für den Klimaschutz? Chancen und Risiken einer erweiterten Erdgasstrategie für die europäische Energieversorgung (Stiftung Wissenschaft und Politik), Berlin, S. 33f.

³⁴ Vgl. Erdgas mobil GmbH, Pressemitteilung vom 07.09.2012, abrufbar unter: [http://www.erdgas-mobil.de/?id=313&tx_apertnewsdisplay_pi1\[uid\]=310](http://www.erdgas-mobil.de/?id=313&tx_apertnewsdisplay_pi1[uid]=310) [22.10.2012].

Fischer-Tropsch-Synthese in ein flüssiges Kohlenwasserstoffgemisch transformiert wird.³⁵ In diesem Umwandlungsprozess geht allerdings ein Teil der Energie verloren.³⁶

2.5.2 Klimapolitisches Potenzial

Anders als bei CNG, LPG und LNG bedarf es beim Einsatz synthetischer Kraftstoffe keinerlei technischer Veränderung der Motoren und der Kraftstoffinfrastruktur.³⁷ Sie gelten damit als Baustein für einen langfristigen Übergang zum Brennstoffzellenantrieb.³⁸ Es handelt sich um schwefelfreie und aromatenarme Kraftstoffe mit geringem Schadstoffausstoß, deren CO₂-Intensität jedoch mit fossilen Brennstoffen vergleichbar ist. Trotz der Qualität synthetischer Brennstoffe gibt es momentan erst sehr wenige Produktionsanlagen für GtL oder Ctl; die meisten sind im Mittleren Osten, in Süd- und Ostasien sowie in Südafrika zu finden. Hohe Kosten und lange Bauphasen von bis zu zehn Jahren haben größere Investitionen in neue Anlagen bisher verhindert.³⁹

2.6 Biokraftstoffe der 1. Generation: Biodiesel und Bioethanol

2.6.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften

Unter die Rubrik „Biokraftstoffe der 1. Generation“ fallen vor allem Biodiesel und Bioethanol. Biodiesel wird in Europa hauptsächlich aus Raps, Bioethanol aus stärkehaltigen Pflanzen, meist Mais, Zuckerrüben und Weizen, gewonnen. Im Jahr 2007 wurde in Deutschland eine Biokraftstoffquote von rund 7% erreicht.⁴⁰ In konventionellen Motoren kann eine Beimischung von Biokraftstoffen jedoch technische Probleme hervorrufen. Im Gegensatz dazu sind hydrierte Pflanzenöle (HVO) auch mit herkömmlichen Dieselmotoren kompatibel. Sie weisen einen deutlich höheren Energiegehalt und ein höheres Emissionsreduktionspotenzial im Vergleich zu herkömmlichem Biodiesel auf, vorausgesetzt, es handelt sich um zertifiziertes Pflanzenöl aus nachhaltiger Produktion.⁴¹

2.6.2 Klimapolitisches Potenzial

Biokraftstoffe sind – trotz der weit verbreiteten gegenteiligen Annahme – keineswegs CO₂-neutral. Gerade bei Biokraftstoffen wird der große Teil der Umweltbelastungen nicht bei der Verbrennung, sondern durch den landwirtschaftlichen Anbau verursacht. Bei der Herstellung von Biokraftstoffen wird fossile Energie in nicht zu unterschätzenden Mengen aufgewendet.⁴² Hinzu kommt, dass bei der Düngung der Anbauflächen Lachgas freigesetzt wird. Es verdampfen mindestens 4% bis 5% des bei der Düngung benutzten Stickstoffs als Lachgas. Dieses ist dreihundertmal treibhauswirksamer als CO₂. Besonders gravierend stellt sich dies bei Biodiesel aus Rapsöl dar, dessen Treibhaus-effekt 1,7mal höher ist als bei herkömmlichem Diesel. Zudem entstehen aus Lachgas Stickoxide, die sowohl bodennahes Ozon befördern als auch die Ozonschicht angreifen.⁴³

³⁵ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2006) (Hg.): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, S. 169.

³⁶ Vgl. Unruh, D. / Rohde, M. / Schaub, G. (2003): Fischer-Tropsch Synthese von Kohlenwasserstoffen ausgehend von Biomasse – In situ H₂O-Abscheidung und Verbesserung der Kohlenstoffnutzung, Karlsruhe, S. 190f., abrufbar unter: http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Workshopbaende/ws2003-2/ws2003-2_04_04.pdf [12.11.2012].

³⁷ Vgl. Euractiv (2006): Synthetische Kraftstoffe: Neues Wundermittel für nachhaltige Mobilität?, abrufbar unter: <http://www.euractiv.com/de/energie/synthetische-kraftstoffe-neues-w-news-249863>[26.06.2012].

³⁸ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2006) (Hg.): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, S. 178.

³⁹ Vgl. International Energy Agency (2009): Transport, Energy, and CO₂ – Moving Toward Sustainability, S. 88, abrufbar unter: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2009/transport2009.pdf> [19.06.2012].

⁴⁰ Vgl. Verband der Automobilindustrie (2009): Antriebe und Kraftstoffe der Zukunft, S. 18.

⁴¹ Vgl. ebd., S. 18.

⁴² Vgl. Illini, Bruna (2007): Ökologische Bewertung alternativer Kraftstoffe. Sind erdgasbetriebene Fahrzeuge umweltfreundlicher als benzin- bzw. dieselpetriebene Fahrzeuge?, Wien, S. 7.

⁴³ Vgl. ebd., S. 7f.

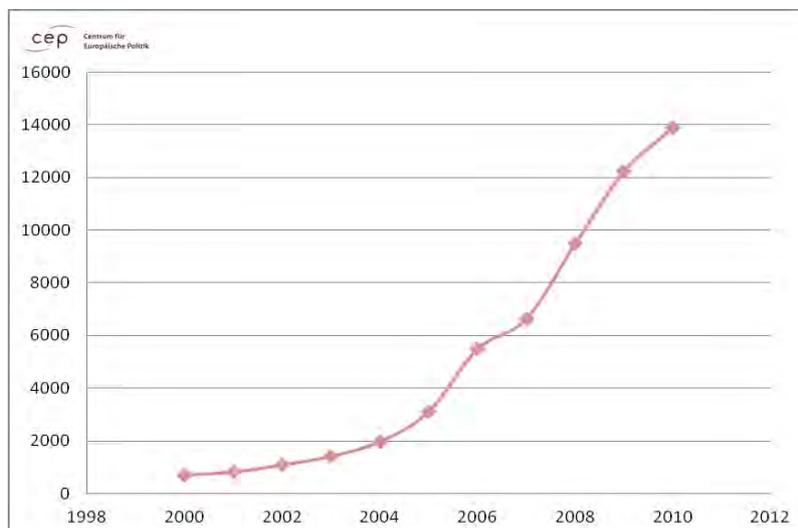
Für einen weit verbreiteten Einsatz von Biokraftstoffen müssten im Übrigen Ackerflächen genutzt werden, die auch der Nahrungs- und Futtermittelproduktion dienen könnten. Dies würde die Lebensmittelpreise steigern und Nahrungsmittel allgemein verknappen. Für eine Ausweitung der Anbauflächen müssten außerdem Wälder, die CO₂ binden, gerodet werden.

2.7 Biokraftstoffe der 2. Generation: Biomass-to-Liquids (BtL) und Lignocellulose-Ethanol

2.7.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften

Als Biokraftstoffe der „2. Generation“ befinden sich BtL und Lignocellulose-Ethanol im Stadium der Forschung und Entwicklung und sind deshalb derzeit noch nicht marktreif.⁴⁴ Es existieren nur wenige Versuchs- und Pilotvorhaben.⁴⁵ Zur Herstellung von BtL-Kraftstoffen und Lignocellulose-Ethanol eignen sich grundsätzlich verschiedene biogene Ressourcen, hauptsächlich können jedoch biogene Festbrennstoffe, wie z. B. Holz und holzartige Pflanzen (v.a. Stroh, Gras oder auch Algen), Verwendung finden. Biokraftstoffe der 2. Generation können aufgrund ihrer hohen Herstellungskosten derzeit mit konventionellen Kraftstoffen und Biokraftstoffen der 1. Generation nicht konkurrieren.

Abbildung 5: Entwicklung des Biokraftstoffverbrauchs in der EU 27 von 2000-2010 in Mio. t RÖE⁴⁶:



2.7.2 Klimapolitisches Potenzial

Biokraftstoffe der 2. Generation zeichnen sich durch eine deutlich bessere Klimabilanz im Vergleich zu ihren Vorgängern der 1. Generation aus. So ermöglichen BtL-Kraftstoffe, bezogen auf den gesamten Lebenszyklus, eine CO₂-Emissionsreduktion von schätzungsweise 85 bis 90% gegenüber

⁴⁴ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2006) (Hg.): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, S. 166.

⁴⁵ Vgl. Klener, Christoph & Bilas, Ines (2008): Synthetischer Biokraftstoff der zweiten Generation. Weltweit erste kommerzielle BTL-Produktionsanlage. In: *energy 2.0*, S. 42-44, hier S. 42.

⁴⁶ Quelle: EUROBSERV'ER (2012): Biofuels Barometer, S. 50, abrufbar unter: http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro212.pdf [12.11.2012].

konventionellen Kraftstoffen.⁴⁷ Lignocellulose-Ethanol ermöglicht eine CO₂-Reduktion gegenüber konventionellen Kraftstoffen von bis zu 75%. Beide sind deutlich klimafreundlicher als herkömmliches Bioethanol aus Weizen, Mais oder Zuckerrüben. Bei der Herstellung von Biokraftstoffen der 2. Generation wird die gesamte Pflanze verwertet, sodass die Flächenerträge (ca. bis zu 3.230 l/ha) im Vergleich zu Biodiesel und Bioethanol deutlich höher ausfallen. Bei der Klimafreundlichkeit schneiden sie deshalb – trotz eines hohen Energieverbrauchs bei der Umwandlung der Biomasse zu Treibstoff – besser ab.⁴⁸

2.8 Elektroantrieb

2.8.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften

Derzeitige Antriebe könnten langfristig durch einen Elektroantrieb ersetzt werden. Elektrofahrzeuge können entweder Strom über eine Batterie oder von einer Oberleitung beziehen. Da es derzeit noch keine praktikablen leistungsstarken Batterien gibt, können jedoch insbesondere schwere Nutzfahrzeuge nur kurze Strecken zurücklegen und ein Mittelklassewagen nur 100 bis 200 km.⁴⁹ Außerdem dauert der Aufladevorgang einer Batterie wesentlich länger als das Betanken eines Fahrzeugs. Diese Probleme hätte ein mit Oberleitung ausgestattetes Hauptverkehrsstraßennetz nicht. Jedoch wären hierfür enorme Infrastrukturinvestitionen notwendig, die das Problem der Pfadabhängigkeit mit sich bringen. Ein Umschwenken zu einer neuen Technologie würde somit erschwert. Zur Problematik der geringen Reichweite wird derzeit geforscht. So befinden sich beispielsweise Systeme austauschbarer Batterieblöcke und Systeme, bei dem die Batterie geleast bzw. gegen eine Nutzungsgebühr angemietet wird, momentan in der Pilotphase.⁵⁰

Momentan stehen verschiedene Varianten von elektrisch betriebenen PKW zur Verfügung: Rein batteriebetriebene PKW nehmen die Energie für den Antrieb ausschließlich aus der Batterie, die über das Stromnetz aufgeladen wird. Bei Plug-In-Hybridsystemen kann der Stromspeicher sowohl aus der Brennstoffzelle als auch zusätzlich über das Stromnetz aufgeladen werden. Der Hybridmotor kombiniert die Antriebsarten von Verbrennungs- und Elektromotoren. Trotz einiger Vorteile fallen die Kosten für Hybridfahrzeuge aufgrund des größeren baulichen Aufwands jedoch deutlich höher aus als für Fahrzeuge mit konventionellen Antriebssystemen. Die notwendige Speicherung elektrischer Energie führt außerdem zu einem höheren Gewicht des Fahrzeugs, was die Vorzüge des Hybridantriebs wiederum schmälert. Als wirklich vorteilhaft erweist er sich vor allem im Stadtverkehr bei häufigem Anfahren, da Hybridmotoren in der Lage sind, einen Teil der Antriebsenergie beim Bremsen durch Speicherung zurückzugewinnen.⁵¹ Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung hingegen haben den Vorteil, dass bei Bedarf zum Beispiel ein Verbrennungsmotor über einen Generator Strom für den Elektromotor erzeugen kann, sodass deutlich längere Strecken zurückgelegt werden können.

Die Technik von Elektromotoren gilt als weitestgehend ausgereift. Anders als konventionelle Verbrennungsmotoren leisten sie über nahezu den gesamten Drehzahlbereich ein gleichmäßiges

⁴⁷ Vgl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2006) (Hg.): Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, S. 166, abrufbar unter:

http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_254marktstudie_2006.pdf [12.11.2012].

⁴⁸ Vgl. ebd., S. 178.

⁴⁹ Vgl. Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) (2010): Ein Portfolio von Antriebssystemen für Europa: eine faktenbasierte Analyse. Die Rolle von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen, Plug-In Hybridfahrzeugen und Brennstoffzellenfahrzeugen, S. 5, abrufbar unter:

http://www.now-gmbh.de/uploads/media/9__Studie_Portfolio_von_Antriebssystemen.pdf [06.11.2012].

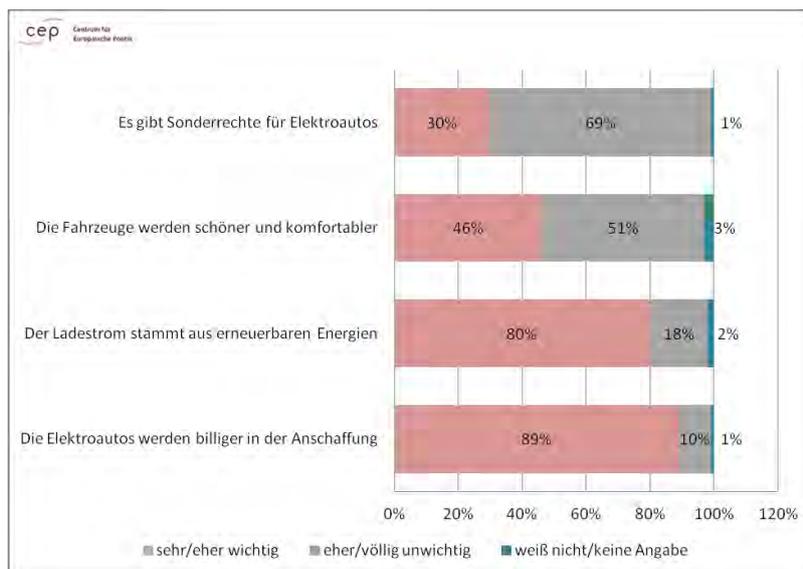
⁵⁰ Vgl. Heymann, Eric (2009): Automobilindustrie am Beginn einer Zeitenwende, Deutsche Bank Research, Frankfurt a.M., S. 12.

⁵¹ Vgl. Verband der Automobilindustrie (2009): Antriebe und Kraftstoffe der Zukunft, S. 11.

Drehmoment. Es sind weder Schaltgetriebe noch Kupplung notwendig und elektrische Antriebe gelten als sehr wartungsarm. Elektromotoren liegen in ihrem Wirkungsgrad⁵² mit bis zu 99% deutlich vor Verbrennungsmotoren mit Wirkungsgraden von 25% bis 35%. Da Elektromotoren über die gesamte Lastkurve einen sehr guten Wirkungsgrad zeigen, der von Verbrennungsmotoren bei Teillast⁵³ jedoch absinkt, eignen sich Elektrofahrzeuge besonders gut für den Stadtverkehr. Dies kann vor allem in städtischen Ballungszentren aufgrund des häufigen Anfahrens und Abbremsens besonders gut genutzt werden.⁵⁴

Bis auf Weiteres werden konventionelle Fahrzeuge kostengünstiger als elektrisch betriebene PKW bleiben. Bei einer Lebensdauer von 10 Jahren entstehen Mehrkosten von bis zu 5.400 Euro für ein durchschnittliches Fahrzeug der Kompaktklasse.⁵⁵ Elektromobilität stellt demnach auf mittlere Frist eine durchaus teure Strategie zur CO₂-Reduktion dar. Die Frage, inwieweit elektrisch betriebene PKW sich für den Massenmarkt eignen, kann deshalb momentan noch nicht abschließend beantwortet werden. Entsprechend fällt auch die Akzeptanz bei den deutschen Endkunden derzeit verhalten aus. Der wichtigste Hinderungsgrund zum Kauf eines Elektrofahrzeuges besteht im deutlichen Preisunterschied: 89% der Kunden würden über eine Anschaffung nachdenken, wenn dies zu günstigeren Kosten möglich wäre. 80% der Nutzer legen außerdem Wert darauf, dass der verwendete Strom aus erneuerbaren Energien stammt.⁵⁶

Abbildung 7: Voraussetzungen, unter denen der Kauf eines Elektroautos vorstellbar wäre⁵⁷



⁵² Der Wirkungsgrad bezeichnet das Verhältnis zwischen abgegebener und zugeführter Leistung.

⁵³ Als Teillast wird der Zustand einer Antriebsmaschine verstanden, bei dem nicht das maximal mögliche Drehmoment (Volllast) bereitgestellt wird. Fahrzeuge werden meist in Teillast betrieben, Volllastbetrieb wird beim Anfahren und Beschleunigen erreicht.

⁵⁴ Vgl. Elektrofahrzeug-Institut: Warum Elektro-Mobilität?, abrufbar unter: <http://www.elektrofahrzeug-institut.de/index.php?id=5> [09.07.2012].

⁵⁵ Vgl. Richter, Jan & Lindenberger, Dietmar (2010): Potenziale der Elektromobilität bis 2050 – eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration (Energiewirtschaftliches Institut), Köln, S. 10, abrufbar unter:

http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Studien/Politik_und_Gesellschaft/2010/EWI_2010-07-02_Elektromobilitaet-Studie.pdf [24.10.2012].

⁵⁶ Vgl. Fraunhofer IAO & Pricewaterhouse Coopers (2010): Elektromobilität. Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand, Frankfurt a.M., S. 12, abrufbar unter: <http://wiki.iao.fraunhofer.de/images/studien/elektromobilitaet-herausforderungen-fuer-industrie-und-oeffentliche-hand.pdf> [24.10.2012].

⁵⁷ Quelle: ebd. S. 12.

2.8.2 Klimapolitisches Potenzial

Das technische CO₂-Reduktionspotenzial von Elektrofahrzeugen hängt stark von dem jeweiligen Fahrzeugkonzept und dem entsprechenden Stromverbrauch ab. Bei einer Verbrauchsschwankung von 10 bis 20 kWh je 100 km würden demnach 60 bis 120 g CO₂ pro Kilometer ausgestoßen. Handelt es sich dabei um Strom aus (Braun-)Kohlekraftwerken, verdoppelt sich diese Belastung. Wird jedoch Strom aus Windkraft verwendet, sinkt die Belastung auf 10 bis 20 g CO₂ pro Kilometer.⁵⁸ Das Energiewirtschaftliche Institut der Universität Köln (EWI) hat – unter Annahme des heutigen deutschen Strommixes – für ein elektrisch betriebenes Fahrzeug der Kompaktklasse eine CO₂-Reduktion von 75% (bezogen auf die gesamte Wertschöpfungskette) im Vergleich zum Benzinfahrzeug ermittelt. Da das CO₂-Einsparpotenzial von Elektrofahrzeugen beim Laden der Batterien in hohem Maße von der zukünftigen CO₂-Intensität der Stromerzeugung abhängt, können Zukunftsprognosen keine zuverlässigen Werte liefern.

Allerdings muss zwischen der technischen CO₂-Intensität der Stromerzeugung und der klimapolitisch relevanten CO₂-Bilanz der Elektromobilität unterschieden werden. In der EU unterliegt die Stromerzeugung, wie auch bestimmte Industrieunternehmen und Luftverkehrsunternehmen, dem Emissionsrechtehandel. Wenn es – z.B. infolge eines erhöhten Anteils von Elektrofahrzeugen – ceteris paribus zu einem erhöhten Stromverbrauch kommt, dann werden zwar je nach Energiemix in der Stromerzeugung physisch höhere CO₂-Mengen durch die Stromerzeugung ausgestoßen. Allerdings unterliegen alle Stromerzeuger dem Emissionsrechtehandel. Für jede Tonne CO₂, die sie ausstoßen, müssen sie ein entsprechendes Zertifikat halten. Die Gesamtmenge an Zertifikaten ist begrenzt. Die höheren ausgestoßenen Mengen durch die Stromerzeugung führen daher nicht zu höheren Emissionsmengen in der EU, sondern lediglich zu Verlagerungen innerhalb der vorgegebenen Obergrenze an zulässigen Emissionen. Daher ist die klimapolitisch relevante Bilanz der Elektromobilität unabhängig vom Energiemix der Stromerzeugung. Innerhalb des Emissionsrechtehandels ist der Stromverbrauch CO₂-neutral. Sollte es infolge einer Ausweitung der Elektromobilität zu deutlichen Preissteigerungen der Zertifikate im Emissionsrechtehandel kommen, könnte dies allerdings zu Standortverlagerungen von Industrieunternehmen führen, hin in Staaten, die keine so anspruchsvolle Klimaschutzpolitik betreiben wie die EU (sog. „Carbon Leakage“). Carbon Leakage bedeutet, dass emissionsintensive Unternehmen ihre Produktion in Staaten mit geringeren bzw. überhaupt keinen Emissionsminderungsvorgaben verlagern.⁵⁹ Dies ist vor allem dann der Fall, wenn Unternehmen aufgrund des internationalen Wettbewerbsdrucks die Kosten des Emissionshandels nicht an die Nachfrager ihrer Produkte weitergeben können, ohne größere Umsatz- und Ertragseinbußen hinnehmen zu müssen. Das Ausmaß solcher Verlagerungen bestimmt letztlich die klimapolitisch relevante CO₂-Bilanz der Elektromobilität in der EU.

2.9 Wasserstoff

2.9.1 Allgemeine Kraftstoffeigenschaften

Als weitere Alternative zu fossilen Kraftstoffen gilt Wasserstoff. Dabei handelt es sich um einen Sekundärenergieträger, d.h. er wird aus anderen Energieträgern hergestellt. Die dafür notwendigen Extraktions- und Reinigungsprozesse sind sehr energieintensiv und teuer. Heute wird Wasserstoff

⁵⁸ Vgl. Elektrofahrzeug-Institut (o.J.): Warum Elektro-Mobilität?, abrufbar unter: <http://www.elektrofahrzeug-institut.de/index.php?id=5> [09.07.2012].

⁵⁹ Vgl. Fehl, Ulrich / Schwerd, Joachim (2004): Das Kyoto-Protokoll – Emissionshandel als Problem internationaler Wirtschaftspolitik, in: Apolte, Thomas / Caspers, Rolf / Welfens, Paul J. J. (Hrsg.): Ordnungswirtschaftliche Grundlagen nationaler und internationaler Wirtschaftspolitik, Lucius & Lucius, Stuttgart, S. 155-179, hier: S. 157.

meist durch Elektrolyse von Wasser, Dampfreformierung von Erdgas, partielle Oxidation schwerer Kohlenwasserstoffe oder Kohle sowie durch Vergasung von Biomasse gewonnen. Als Energiequelle dient dabei der Rohstoff selbst (chemische Energie) oder von außen zugeführte, elektrische, thermische oder solare Energie.⁶⁰

Wasserstoff lässt sich sowohl in Brennstoffzellen als auch in Verbrennungsmotoren einsetzen, kann über längere Distanzen transportiert oder auch vor Ort an einer Tankstelle oder direkt im Fahrzeug durch Dampfreformierung aus kohlenstoffhaltigen Energieträgern gewonnen werden. Grundsätzlich kann Wasserstoff auch aus regenerativen Rohstoffen gewonnen werden.⁶¹

2.9.2 Klimapolitisches Potenzial

Hinsichtlich der klimapolitischen Wirkung von Wasserstoff gelten die gleichen Überlegungen wie bei der Nutzung von elektrischem Strom, sofern die betreffenden Anlagen dem Europäischen Emissionsrechtehandel unterliegen. Seine Verwendung als Motorantrieb ist nahezu schadstoff- und emissionsfrei, da die Abgase praktisch aus reinem Wasserdampf bestehen.

Wasserstoff kann auch als Energiespeicher genutzt werden. Wird an bestimmten Tagen durch Windkraft oder Solarzellen mehr Energie erzeugt als verbraucht, kann diese überschüssige Energie also, mittelbar über die Wasserstoffspeicherung, auch für den Antrieb der Kraftfahrzeuge verwendet werden.⁶² Angesichts des derzeitigen Anteils erneuerbarer Energien am gesamten Strommix in Deutschland erscheint es jedoch fraglich, ob eine Wasserstoffproduktion allein aus alternativen Energieträgern ein realistisches Szenario darstellt.⁶³

Zum momentanen Zeitpunkt konzentriert sich die Forschung auf zwei unterschiedliche Antriebs-technologien für Wasserstoff: die Brennstoffzelle und die Beibehaltung des Verbrennungsmotors. Brennstoffzellen verfügen im Vergleich zum Verbrennungsmotor über einen doppelten Wirkungsgrad. Der Fahrzeugbetrieb erfolgt, abgesehen von der Entstehung von Wasser, emissionsfrei. In der Brennstoffzelle wird durch „kalte Verbrennung“ von Wasserstoff und Sauerstoff chemische in elektrische Energie umgewandelt, die für den Fahrzeugantrieb und den Betrieb der Nebenaggregate genutzt werden kann. Sogenannte bivalente Verbrennungsmotoren können sowohl mit Wasserstoff als auch mit herkömmlichen Kraftstoffen betrieben werden. Solche Fahrzeuge verfügen sowohl über einen herkömmlichen Kraftstofftank als auch zusätzlich über einen Tank für Wasserstoff.⁶⁴

Die Reichweite wasserstoffbetriebener Fahrzeuge ergibt sich durch die Menge des in Druckgas-tanks mit bis zu 700 Bar gespeicherten Wasserstoffs. Aber auch durch eine Tiefkühlung von flüssigem Wasserstoff lässt sich der Vorrat an Bord des PKW erhöhen. Dafür sind isolierte Drucktanks notwendig, die einer Verflüchtigung über lange Standzeiten hinweg entgegenwirken. Brennstoffzellen hingegen bieten den Vorteil eines doppelt so hohen Wirkungsgrades im Vergleich zum Ver-

⁶⁰ Vgl. Verband der Automobilindustrie (2009): Antriebe und Kraftstoffe der Zukunft, S. 24. Die oben angestellten Überlegungen im Zusammenhang mit dem Emissionsrechtehandel gelten allerdings auch hier.

⁶¹ Vgl. Salchenegger, Stefan (2006): Emissionen von Wasserstofffahrzeugen. Abschätzung der Emissionen von wasserstoff- und brennstoffzellenbetriebenen Fahrzeugen (Umweltbundesamt Österreich), Wien, S. 12-16., abrufbar unter: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0012.pdf> [11.07.2012].

⁶² Vgl. German Hy (2009): Studie zur Frage "Woher kommt der Wasserstoff in Deutschland bis 2050?" (im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und in Abstimmung mit der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie), S. 12, abrufbar unter: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Verkehr/Dokumente/germanHy_Abschlussbericht.pdf [11.07.2012].

⁶³ Vgl. Romm, Joseph J. (2004): Wasserstoff-Autos für die ferne Zukunft. In: *Technology Review* 12, abrufbar unter: <http://www.heise.de/tr/artikel/Wasserstoff-Autos-fuer-die-ferne-Zukunft-276885.html> [11.07.2012].

⁶⁴ Vgl. Verband der Automobilindustrie (2009): Antriebe und Kraftstoffe der Zukunft, S. 24f.

brennungsmotor. Sie gewinnen auf direktem Weg elektrischen Strom aus Luft und Wasserstoffgas.⁶⁵

Die künftige Entwicklung dieser Technologie hängt vor allem von einer verbesserten Alltagstauglichkeit des Gebrauchs, der Kostenminderung und dem Ausbau der Infrastruktur ab. Die flächendeckende Einführung von Wasserstoff als Kraftstoff erfordert eine gute Produktions-, Transport- und Verteilungsinfrastruktur. Dies ist ohne erhebliche Investitionen nicht möglich: Die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) schätzt die Produktions-, Verteilungs- und Einzelhandelskosten für Deutschland auf ca. 3 Milliarden Euro in der ersten Dekade sowie weitere 2 bis 3 Milliarden Euro pro Folgejahr.⁶⁶

2.10 Fazit: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile alternativer Kraftstoffe

Synthetische Kraftstoffe, GtL und CtL, könnten als Übergang zu neuen Antriebstechnologien genutzt werden, allerdings ist mit ihnen kein klimapolitischer Nutzen verbunden. Kurzfristig bieten CNG, LPG und LNG Möglichkeiten zur Einsparung von Treibhausgasemissionen. Das Potenzial ist jedoch insgesamt begrenzt. Innerhalb der Biokraftstoffe könnten insbesondere die Kraftstoffe der 2. Generation als klimaschützende Kraftstoffe dienen, die unabhängig von fossilen Energieträgern genutzt werden können.

Elektromobilität ist dann unabhängig von fossilen Brennstoffen, wenn die Elektrizität unabhängig von fossilen Brennstoffen gewonnen wird. Hinsichtlich der Wirkung auf den Klimawandel muss beachtet werden, dass in der EU die Erzeugung von Strom dem Europäischen Emissionsrecht unterliegt. Innerhalb des Emissionsrechtshandels ist der Stromverbrauch daher CO₂-neutral. Allerdings kann es durch höhere Preise für Emissionsrechte zu Standortverlagerungen von Industrieunternehmen kommen. Das Ausmaß solcher Verlagerungen bestimmt letztlich die klimapolitisch relevante CO₂-Bilanz der Elektromobilität in der EU.

Wasserstoff verbrennt emissionsfrei. Für seine Gewinnung muss allerdings Energie eingesetzt werden. Hinsichtlich der diesbezüglichen Nutzung von elektrischem Strom gelten die gleichen Überlegungen wie für die Elektromobilität.

⁶⁵ Vgl. ebd.

⁶⁶ Vgl. Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) (2010): Ein Portfolio von Antriebssystemen für Europa: eine faktenbasierte Analyse. Die Rolle von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen, Plug-In Hybridfahrzeugen und Brennstoffzellenfahrzeugen, S. 7.

	Vorteile		Nachteile	
	Allgemeine Eigenschaften	Klimapolitisches Potenzial	Allgemeine Eigenschaften	Klimapolitisches Potenzial
Erdgas (CNG)	<ul style="list-style-type: none"> • Unkomplizierte Umrüstung von Benzinmotoren wegen ähnlicher Verbrennungseigenschaften • Lärmbelastung wird um bis zu 50% reduziert 	<ul style="list-style-type: none"> • 20% weniger CO₂-Emissionen als Benzin-, 14% weniger als Dieselmotoren. • 90% weniger Ausstoß von Stickoxiden als Dieselmotoren; 70% weniger Kohlenmonoxide als Benzinmotoren 	<ul style="list-style-type: none"> • Teure Anschaffung: Aufpreis von ca. 2.500 bis 5.000 Euro • Nur 50% der Reichweite im Vergleich zu Benzin- und Dieselfahrzeugen • Geringe Bandbreite an Fahrzeugmodellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Bei einem Anteil von Erdgasfahrzeugen von 10% des tatsächlich gefahrenen Verkehrs könnten die THG-Emissionen nur um gut 2% gesenkt werden. • Je länger der Transportweg für CNG, desto geringer der klimaschützende Effekt
Autogas (LPG)	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Verfügbarkeit, da Abfallprodukt fossiler Energieträger • Höhere Reichweite als CNG-Fahrzeuge aufgrund höherer Energiedichte 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleich mit CNG abhängig vom Transportweg beider Kraftstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas 	<ul style="list-style-type: none"> • Langfristig längere Transportwege für LPG wegen Erdölverknappung
Flüssiggas (LNG)	<ul style="list-style-type: none"> • Kann in Tankschiffen über weite Entfernungen transportiert werden • Höhere Dichte ermöglicht Reichweiten von über 1.000 km 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringere CO₂-Emissionen als Benzin- und Dieselmotoren 	<ul style="list-style-type: none"> • Verflüssigung und Regasifizierung erfordern aufwendige Infrastruktur, die noch nicht ausreichend vorhanden ist. 	
Synthetische Flüssigbrennstoffe (GtL und CtL)	<ul style="list-style-type: none"> • Keine technische Veränderungen der Motoren und Kraftstoffinfrastruktur notwendig 		<ul style="list-style-type: none"> • Im thermo-chemischen Umwandlungsprozess geht ein Teil der Energie verloren • Hohe Kosten und lange Bauphasen der benötigten Anlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂-Intensität wie fossile Brennstoffe
Biokraftstoffe der 1. Generation (Bioethanol und Biodiesel)			<ul style="list-style-type: none"> • Beimischung in konventionellen Motoren problematisch 	<ul style="list-style-type: none"> • Konflikt mit Nahrungs- und Futtermittelproduktion • Freisetzung von Lachgasen bei Düngung der Anbauflächen • Energieintensive Herstellung

	Vorteile		Nachteile	
	Allgemeine Eigenschaften	Klimapolitisches Potenzial	Allgemeine Eigenschaften	Klimapolitisches Potenzial
Biokraftstoffe der 2. Generation (Biomass to Liquids, BtL und Lignocellulose-Ethanol)		<ul style="list-style-type: none"> • Bessere Klimabilanz als Vorgänger der 1. Generation • BtL: 85-90% CO₂-Reduktion bezogen auf den gesamten Lebenszyklus • Hohe Flächenerträge (bis zu 3.230 l/ha) 	<ul style="list-style-type: none"> • Befinden sich im Stadium der Forschung und Entwicklung • Hohe Herstellungskosten • Hoher Energieverbrauch bei der Umwandlung 	
Elektroantrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Technik gilt als ausgereift • Weder Schaltung noch Kupplung notwendig • Wartungsarme Antriebe • Hohe Wirkungsgrade 	<ul style="list-style-type: none"> • Technisches CO₂-Reduktionspotenzial bei heutigem Strommix: 75% bezogen auf den gesamten Lebenszyklus 	<ul style="list-style-type: none"> • Bisher noch keine praktikablen und leistungsfähigen Batterien verfügbar • Oberleitungen benötigen hohe Infrastrukturinvestitionen • Kostenintensiver als herkömmliche Fahrzeuge 	
Wasserstoffantrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserstoff kann auch als Energiespeicher genutzt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung von Wasserstoff als Motorantrieb ist nahezu schadstoff- und emissionsfrei 	<ul style="list-style-type: none"> • Notwendige Produktions-, Transport- und Verteilungsinfrastruktur erfordert erhebliches Investitionsvolumen 	<ul style="list-style-type: none"> • Extraktions- und Reinigungsprozesse teuer und energieintensiv • Wasserstoffherstellung geschieht nur unter Zufuhr von Strom

3 Wirtschaftspolitischer Handlungsbedarf

Der Übergang zu alternativen Kraftstoffen muss drei Probleme berücksichtigen: Die Endlichkeit fossiler Brennstoffe, die Klimaschutzziele und den Aufbau eines kompatiblen Betankungsnetzes. Die Endlichkeit fossiler Brennstoffe kommt nicht über Nacht. Vielmehr handelt es sich um einen langfristigen Prozess, in dessen Verlauf die Preise fossiler Energieträger gegenüber alternativen Energieträgern steigen werden und so die verschärfte relative Knappheit signalisieren. Eine perfekte Voraussicht über den Verlauf dieses Prozesses ist nicht möglich. Es spricht allerdings auch nichts dafür, dass staatliche Stellen zu besseren Prognosen fähig sind als die betroffenen Unternehmen. Ein akuter wirtschaftspolitischer Handlungsbedarf aufgrund der grundsätzlichen Endlichkeit fossiler Brennstoffe besteht daher nicht.

Klimaschutz hingegen ist durch das Handeln der betroffenen Unternehmen und Verbraucher allein nicht möglich, da diese keinen hinreichenden Anreiz haben, die Kosten des Klimawandels, zu dem ihr Verhalten beiträgt, in ihrem Handlungskalkül zu berücksichtigen. In Abschnitt 3.1 wird der daraus folgende wirtschaftspolitische Handlungsbedarf erläutert. In Abschnitt 3.2 wird erörtert, ob der Umbau des Betankungsnetzes wirtschaftspolitisches Handeln erforderlich macht. In Abschnitt 3.3 wird der Einsatz öffentlicher Mittel für die Grundlagenforschung erörtert.

3.1 Berücksichtigung der Kosten von CO₂-Emissionen

Zum Erreichen der Klimaschutzziele und zur breiten Durchsetzung einer bzw. mehrerer neuer Antriebstechnologien bedarf es eines wirtschaftspolitischen Handlungsrahmens, innerhalb dessen die Marktakteure selbst über den Marktpreis effiziente und zugleich klimafreundlichere Antriebstechnologien etablieren. Nur so kann gewährleistet werden, dass Klimaschutz nicht unnötig teuer wird. Da es für den Klimaschutz keine Rolle spielt, in welchen Sektoren CO₂-Emissionen eingespart werden, sollten die Einsparungen dort erfolgen, wo es am günstigsten ist. Hierfür müssen zunächst die externen Kosten der Kraftstoffverwendung berücksichtigt werden. Denn ein grundsätzliches ordnungspolitisches Problem besteht darin, dass Wirtschaftsakteure keine Anreize haben, weniger CO₂ zu emittieren und somit zur Bereitstellung des Kollektivgutes Qualität der Atmosphäre beizutragen. Bei externen Effekten, wie CO₂-Emissionen, berücksichtigt der Emittent nicht die kostenmäßigen Auswirkungen der eigenen Handlungen auf Dritte. Seine privaten Grenzkosten liegen daher unter den sozialen Grenzkosten. Der Preismechanismus allein kann hier nicht zu effizienten Marktergebnissen führen, sodass staatliche Eingriffe berechtigt sein können.⁶⁷ Weder in der EU noch in deren Mitgliedstaaten wird derzeit für den Straßenverkehr ein wirtschaftspolitisches Instrument verwendet, das ausschließlich der Internalisierung von CO₂-Emissionen dient. In einigen Mitgliedstaaten wird unter anderem die Erhebung von Kraftstoffsteuern damit begründet, dass sie zur Reduktion umweltschädlicher Aktivitäten dienen.⁶⁸ Der Umfang, in dem die Steuern in den einzelnen Mitgliedstaaten erhoben werden, ist jedoch sehr unterschiedlich.⁶⁹ Zudem stellt ein fixer Steuersatz kein effizientes Instrument dar, um die externen Kosten der Kraftstoffverwendung zu internalisieren. Die Ermittlung eines optimalen Steuersatzes benötigt Wissen, welches in der nötigen Exaktheit in einer komplexen Marktwirtschaft prinzipiell nicht bekannt sein kann.⁷⁰ Außerdem kann durch

⁶⁷ Vgl. Ewers/Fritsch/Wein (2007): Marktversagen und Wirtschaftspolitik, 7. Auflage, Franz Vahlen Verlag, München, S. 90 ff., 112 ff. und 364 ff.

⁶⁸ Vgl. Umweltbundesamt (2011): Umweltbezogene Steuern und Gebühren, Ökologische Steuerreform, Ökologische Finanzreform, abrufbar unter: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodent=2621> [03.07.2012]

⁶⁹ Vgl. Manager Magazin Online (2007): Wo das Benzin noch billig ist; in: <http://www.manager-magazin.de/finanzen/artikel/0,2828,474530,00.html> [19.06.2012].

⁷⁰ Vgl. Kerber, Wolfgang (1998): Grenzen der Wirtschaftspolitik, in: Engel, Christoph / Morlock, Martin (Hrsg.): Öffentliches Recht als ein Gegenstand ökonomischer Forschung, Mohr Siebeck, Tübingen, S. 207-218, hier: S. 209 ff.

eine Steuer nur sehr bedingt ein Rückgang von CO₂-Emissionen erreicht werden. Gerade im Verkehrssektor hat sich gezeigt, dass die Nachfrage nach Kraftstoffen bei einer relativen Preisänderung äußerst unelastisch reagiert; d. h. der Kraftstoffverbrauch und damit auch die CO₂-Emissionen reagieren nur sehr träge auf Preissignale.

Ein ökologisch treffsicheres und gleichzeitig ökonomisch effizientes Instrument stellt der Emissionsrechtehandel dar, welcher auf möglichst alle Sektoren und damit auch auf den Verkehrssektor samt dem Straßenverkehr ausgeweitet werden sollte. In der EU umfasst der Emissionshandel im Verkehrsbereich bereits den elektrifizierten Schienenverkehr und den Luftverkehr. Der Zertifikatspreis für eine Tonne CO₂ liegt derzeit bei rund acht Euro.⁷¹ Im Vergleich dazu liegt die durchschnittliche Besteuerung von Dieselmotorkraftstoff bei ca. 35 Eurocent pro Liter.⁷² Das entspricht einem Preis von 132 Euro pro Tonne CO₂. Daraus lässt sich ableiten, dass für den gleichen finanziellen Aufwand in anderen Sektoren mehr als zehnmal mehr CO₂ eingespart werden kann, als im Verkehrssektor.⁷³ Gerade in Anbetracht weltweit ansteigender CO₂-Emissionen wäre es verantwortungslos, auf Mehreinsparungen an Emissionen zu verzichten. Für den Straßenverkehr eignet sich der sogenannte Upstream-Emissionshandel, der auf der ersten Handelsstufe, also bei Förderunternehmen und Importeuren von fossilen (bzw. CO₂-emittierenden) Kraftstoffen, ansetzt. Mit dem Emissionshandel kann die Politik eine Gesamtemissionshöchstmenge exakt vorgegeben, wobei die einzelnen Marktakteure entscheiden können, in welchen Sektoren CO₂-Einsparungen letztlich am günstigsten zu erreichen sind. Die Kosten des Emissionshandels würden bis zum Endverbraucher weitergegeben werden. Dadurch entstehen auf allen Stufen Innovationsanreize, um CO₂ in allen betroffenen Sektoren einzusparen. Die oben erörterten alternativen Kraftstoffe und die Elektromobilität würden in einem solchen System ihre jeweiligen komparativen Vorteile der Klimaschutzwirkung ausspielen können, da sich verringerte Treibhausgasemissionen in geringeren Kosten ausdrücken.

In diesem Zusammenhang ist es sehr interessant, dass auch die Europäische Kommission eine Ausdehnung des Emissionsrechtehandels auf weitere Sektoren zumindest in Erwägung zieht.⁷⁴ Sie verspricht sich von einer Einbeziehung des „Kraftstoffverbrauchs in weiteren Sektoren“ neben einer Abdeckung eines größeren Volumens an Treibhausgasemissionen eine stabilisierende Wirkung des Marktes für Emissionsrechte.

Allerdings besteht beim Klimaschutz das Problem der Emissionsverlagerung („Carbon Leakage“).⁷⁵ Die Folge der Abwanderung von Unternehmen wäre, dass die globalen CO₂-Emissionen aufgrund der Einführung des Emissionshandels in der EU ansteigen würden. Das Problem von Carbon Leakage lässt sich lindern, indem besonders abwanderungsgefährdeten Branchen kostenlose Zertifikate zugewiesen werden. Da diese weiterhin handelbar sind, haben Unternehmen Anreize, CO₂-Emissionen einzusparen, um so ihre erhaltenen Zertifikate gewinnbringend weiterzuverkaufen. Allerdings besteht das Problem, dass diese Branchen nicht immer eindeutig auszumachen sind. Daher kann es zu Fehlzuteilungen der kostenlosen Zertifikate kommen und damit der Marktprozess des Emissionshandels verzerrt werden. Diese Verzerrungen sind umso größer, je höher der Zertifikatspreis ist. Solange es keinen weltweiten Konsens über die Klimaschutzpolitik gibt, sind einer effizienten Klimaschutzpolitik der EU daher politische Grenzen gesetzt. Durch den Einsatz

⁷¹ Vgl. <http://www.eex.com/de/Marktdaten/Handelsdaten/Emissionsrechte> [03.07.2012].

⁷² Vgl. Frankfurter Rundschau (2010): Mineralölsteuer in Europa, abrufbar unter: <http://www.fr-online.de/grafiken/grafik-mineraloelsteuer-in-europa,1473638,2765240.html> [02.07.2012].

⁷³ Bei der Verbrennung eines Liters Dieselmotorkraftstoff wird ca. 2600 Gramm CO₂ freigesetzt.

⁷⁴ Vgl. Europäische Kommission, „The state of the European carbon market in 2012“. Unveröffentlichter Entwurf für eine Mitteilung der Kommission.

⁷⁵ Gleichwohl sind die Kosten von Umweltauflagen nicht der einzige Faktor bei der Standortwahl; Lohnkosten, Investitionssicherheit, Infrastruktur und vieles mehr sind ebenfalls entscheidungsrelevant. Vgl. Umweltbundesamt (2008): Carbon Leakage, in: http://www.dehst.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/Papier_Carbon_Leakage.pdf?__blob=publicationFile [06.07.2012].

alternativer und/oder ergänzender Instrumente der Klimaschutzpolitik, die die Belastungswirkungen der Klimaschutzpolitik insbesondere auf Bereiche der Volkswirtschaft verlagern, die nicht abwandern können, kann zwar die EU eine anspruchsvollere Klimaschutzziele erreichen als nur durch den Emissionsrechtehandel ohne einen weltweiten Klimaschutzkonsens. Allerdings führen diese Instrumente zu erheblichen Mehrbelastungen der Volkswirtschaft ohne – in Ermangelung eines globalen Konsenses – weltweit tatsächlich eine signifikante klimaschützende Wirkung zu entfalten.

3.2 Ausbau und Umrüstung des Betankungsnetzes

Für die Mobilität im Straßenverkehr spielen die Versorgungs- bzw. Betankungsmöglichkeiten eine große Rolle. Sie sind somit entscheidend für den Erfolg einer neuen Antriebstechnologie. Aufgrund des global aufgebauten Tankstellennetzes und der daraus resultierenden Größen- und Verbundvorteile haben fossile Kraftstoffe einen beträchtlichen Wettbewerbsvorteil gegenüber alternativen Kraftstoffen. Es stellt sich daher die Frage, ob der Umstieg zu alternativen Kraftstoffen eine aktive unterstützende Politik erforderlich macht, die Einfluss auf das Betankungsnetz nimmt. Ein solches Vorgehen wäre unweigerlich mit einer politischen Einflussnahme auf die Verwendung alternativer Kraftstoffe verbunden.

Investitionen in ein neues Betankungsnetz für neue Kraftstoffe oder Elektromobilität können aus unternehmerischer Sicht rational sein. Ein Tankstellennetzbetreiber wird sich dann für die Einführung eines neuen Betankungssystems entscheiden, wenn er erwartet, dadurch eine ausreichend hohe Nachfrage zu generieren, welche die Mehrkosten zuzüglich einer Gewinnmarge langfristig deckt. Unter Berücksichtigung der langfristigen Zusatzkosten und der potentiellen Nachfrage kann also ein Tankstellenbetreiber genügend Anreize für die Umrüstung haben. Grundvoraussetzung für die Nachfrage nach den Leistungen der neuen Betankungsanlagen ist, dass die neue Antriebsart zu einem gewissen Grad praxistauglich ist. Nur dann besteht für einen Tankstellenbetreiber die Möglichkeit, eine ausreichend große Zielgruppe zu finden, die den entsprechenden alternativen Kraftstoff zu einem Preis nachfragt, der mindestens seine Kosten zuzüglich einer Gewinnmarge deckt. Dafür muss die alternative Antriebstechnologie entweder einen höheren Gebrauchsnutzen für die Konsumenten mit sich bringen oder sich durch geringere Kosten im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen auszeichnen.

Aus der Nutzerperspektive ist eine Antriebstechnologie nur attraktiv, wenn ein dazu passendes hinreichend dichtes Betankungsnetz zur Verfügung steht. Aus der Perspektive der Tankstellenbetreiber sind Investitionen in den Ausbau eines Netzes für neue Betankungsmöglichkeiten nur attraktiv, wenn es hinreichend viele Kunden gibt. Das so formulierte Koordinationsproblem ist ohne lenkenden wirtschaftspolitischen Eingriff lösbar, da sowohl für Automobilhersteller als auch für Tankstellenbetreiber grundsätzlich Anreize bestehen, ihre diesbezüglichen Strategien zu koordinieren.

Technologieänderungen gehen zwar mit Investitionsrisiken einher, diese können aber durch entsprechende Risikoaufschläge auf das eingesetzte Kapital und bei der Berechnung der langfristigen Zusatzkosten berücksichtigt werden. Im Erfolgsfall können erhebliche Gewinne für Betankungsnetzbetreiber und jene Automobilhersteller entstehen, die eine neue erfolgreiche Antriebstechnologie etablieren. Die Überlegung, dass einige Automobilhersteller und Betankungsnetzbetreiber sich eventuell eher abwartend verhalten werden und erst dann in eine neue Technologie investieren, wenn sich herausgestellt hat, dass diese auch von Kunden nachgefragt wird, beschreibt keine Besonderheit des Umstiegs auf neue Kraftstoffe und Antriebstechnologien. Dies ist ein normales Phänomen des Innovationswettbewerbs und begründet keinen wirtschaftspolitischen Handlungsbedarf. Eine Übernahme dieser Risiken durch den Steuerzahler würde den Anreiz zu einer ehrlichen

Kalkulation der Chancen und Risiken neuer Kraftstoffe und Antriebssysteme unter Berücksichtigung der erforderlichen Betankungsinfrastruktur schwächen. Es ist daher nicht ersichtlich, dass eine wirtschaftspolitische Einflussnahme auf die Ausgestaltung des Tankstellennetzes zu einer Verbesserung der diesbezüglichen Entscheidungen beitragen würde. Insbesondere frühzeitige Subventionen, etwa in eine bestimmte Antriebstechnologie, können sogar dazu führen, dass aufgrund der Pfadabhängigkeit weitere möglicherweise bessere Innovationen verhindert werden. Die Erfahrungen mit der Förderung erneuerbarer Energien in Deutschland sollten als warnendes Beispiel gesehen werden. Durch die staatliche Förderung werden insbesondere teure Technologien ausgebaut, anstatt das volle Potenzial kostengünstigerer Technologien zu nutzen.⁷⁶ Staatliche Anreize sind daher nicht notwendig und auch nicht wünschenswert, da sie den Wettbewerb als Entdeckungsverfahren verzerren würden.

Eine Normierung der Ladungs- bzw. Betankungsschnittstellen für jeweils eine Kraftstoff- bzw. Antriebsart ist vorteilhaft, da einheitliche Standards in diesem Bereich aufgrund der so sichergestellten Kompatibilität für die Nutzbarkeit von Fahrzeugen mit alternativer Antriebstechnologie von erheblicher Bedeutung sind. Gleichzeitig können durch die Standardisierung teure Parallelentwicklungen verhindert werden.

Die Vorteile der Kompatibilität können als ausreichend groß angesehen werden, sodass davon auszugehen ist, dass Automobilhersteller- und Betreiber der Betankungsinfrastruktur sowie die dazugehörigen Zulieferunternehmen ein Interesse haben, sich am Normierungsprozess zu beteiligen. Schließlich steigt so der praktische Nutzen der von den Beteiligten eingesetzten Technologien. Ein besonderer wirtschaftspolitischer Eingriff ist nicht nötig, allenfalls könnte die öffentliche Hand – falls nötig – eine koordinierende Funktion übernehmen. Idealerweise würde diese Koordination auf möglichst hoher Ebene, etwa auf Ebene der EU oder sogar der UN/ECE, stattfinden, damit möglichst weiträumig ein einheitliches Betankungssystem verwendet wird. Dies verhindert Mobilitätshindernisse im grenzüberschreitenden Verkehr. Außerdem hat die alternative Antriebstechnologie über einen erhöhten Nutzen aller Akteure nun bessere Chancen, sich auf dem Markt für Antriebstechnologien durchzusetzen.

3.3 Öffentliche Mittel zur Grundlagenforschung

Staatliche Finanzierung der Grundlagenforschung kann ein geeignetes Instrument zur Erweiterung des Wissens über alternative Kraftstoffe sein. Zur Grundlagenforschung gehören jene Arbeiten, die neues Grundwissen liefern, welches nicht direkt praktisch angewendet werden kann. Hierzu haben Unternehmen kaum Anreize, da solche Aktivitäten nicht zwingend in erlösbringenden Innovationen münden. Innovationen können jedoch neue Arbeitsplätze und Wirtschaftswachstum entstehen lassen.⁷⁷ Ohne eine staatliche (Teil-)Finanzierung der Grundlagenforschung besteht die Gefahr, dass diese ausschließlich an Universitäten stattfinden würde.

In der Praxis besteht zwar das Problem, dass anwendungsorientierte Forschung, zu welcher Unternehmen sehr wohl Anreize haben, und Grundlagenforschung kaum auseinander zu halten sind. So könnte beispielsweise ein Unternehmen seine Aktivitäten als Grundlagenforschung deklarieren, um staatliche Unterstützung zu erhalten, obwohl es diese Aktivitäten ohnehin durchgeführt hätte. Solange man Grundlagenforschung in Unternehmen unterstützen möchte, ist dieses Problem allerdings unausweichlich.

⁷⁶ Vgl. Voßwinkel, Jan & Reichert, Götz (2012): CEP-Studie: Europäisiert die Erneuerbaren!, abrufbar unter: <http://www.cep.eu/analysen-zur-eu-politik/energie/studie-erneuerbare-energien/> [12.11.2012].

⁷⁷ Vgl. Gröteke, Friedrich (2006): Europäische Beihilfenkontrolle und Standortwettbewerb – Eine ökonomische Analyse, Lucius & Lucius, Stuttgart, S. 45.

Eine Subventionierung der anwendungsorientierten Forschung in Unternehmen verzerrt jedoch den Wettbewerb, da die Ergebnisse dieser Forschung zu Vorteilen im Innovationswettbewerb zwischen Unternehmen führen und die Koordinationsfunktion des „Wettbewerbs als Entdeckungsverfahren“ schwächen.⁷⁸ Daher muss die Unterstützung der Grundlagenforschung vor diesem Hintergrund laufend überwacht werden. Um zu vermeiden, dass sich Förderstrukturen verselbstständigen und institutionell verkrusten, dürfen staatliche Maßnahmen nur zeitlich begrenzt erfolgen.⁷⁹

4 Fazit

Technische Alternativen zum heutigen konventionellen Antrieb von Straßenfahrzeugen sind sowohl aus Gründen knapper werdender fossiler Rohstoffe als auch aufgrund der Klimaschutzziele der EU zukünftig erforderlich. Zwar lässt sich auf der Grundlage der derzeit eingesetzten Antriebstechnologien durch Maßnahmen zur Effizienzsteigerung wie Downsizing, neue Brennverfahren und hybride Antriebssysteme der Kraftstoffverbrauch reduzieren. Allerdings können dadurch Emissionen und Kraftstoffverbrauch auf lange Frist nicht hinreichend reduziert werden. Erdgas, Autogas, Flüssiggas, Synthetische Flüssigbrennstoffe und Biokraftstoffe sind alternative Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren mit jeweils unterschiedlichen Vorzügen in Bezug auf die Abkoppelung von fossilen Rohstoffen und das Klimaschutzziel. Antriebe auf der Basis von Elektrizität und von Wasserstoff in Brennstoffzellen stellen langfristige technische Alternativen dar. Die CO₂-Bilanz einer Ausweitung der Elektromobilität und der Nutzung von Wasserstoff wird dabei letztlich durch den Carbon-Leakage-Effekt des Emissionsrechtehandels bestimmt.

Die technologische Entwicklung sollte politisch durch Förderung der Grundlagenforschung flankiert werden. Allerdings muss vermieden werden, dass durch politisch bestimmte Vorauswahl erfolgversprechender Technologien eine ineffiziente Pfadabhängigkeit der Technologieentwicklung erzeugt wird. Als geeignetes Instrument für eine effiziente Klimaschutzpolitik sollte der Emissionsrechtehandel auch auf den Straßenverkehr ausgedehnt werden. Dieser ermöglicht einen technologieneutralen und sektorübergreifenden Ansatz, um ein gegebenes Klimaschutzziel effizient zu erreichen. Solange es keinen weltweiten Konsens über die Klimaschutzpolitik gibt, sind einer effizienten Klimaschutzpolitik in der EU allerdings politische Grenzen gesetzt.

⁷⁸ Vgl. Hayek, Friedrich August von (1969): Der Wettbewerb als Entdeckungsverfahren, in Freiburger Studien, Band 5, Mohr, Tübingen, S. 249-265.

⁷⁹ Vgl. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2009): Die Zukunft nicht aufs Spiel setzen, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Rn. 380 ff.

Centrum für Europäische Politik

Das Centrum für Europäische Politik (CEP) in Freiburg ist der europapolitische Think Tank der gemeinnützigen Stiftung Ordnungspolitik. Es ist ein Kompetenzzentrum zur Recherche, Analyse und Evaluierung der EU Politik. Seine Analysen beruhen auf den Grundsätzen einer freiheitlichen und marktwirtschaftlichen Ordnung. Vorstand des CEP ist Prof. Dr. Lüder Gerken. Dem Kuratorium des CEP gehören Bundespräsident a.D. Prof. Dr. Roman Herzog, der ehemalige polnische Finanzminister und Notenbankpräsident Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Leszek Balcerowicz, der frühere EU-Kommissar Prof. Dr. h.c. Frits Bolkestein sowie der ehemalige Präsident der Deutschen Bundesbank Prof. Dr. Hans Tietmeyer an.