

Forschungszentrum für Umweltpolitik

„Mobilität der Zukunft“

-

Perspektiven mittelständischer Tankstellen
als Versorger von Biokraftstoffen, Strom,
Wasserstoff und Gas

PD Dr. Lutz Mez

Sandu-Daniel Kopp, M.A.

November 2011



Forschungszentrum für Umweltpolitik
Freie Universität Berlin
Fachbereich Politik- und Sozialwissenschaften
Otto-Suhr-Institut für Politikwissenschaft

Herausgeber

Freie Universität Berlin

Forschungszentrum für Umweltpolitik

Inhnestraße 22

14195 Berlin

Web: <http://www.polsoz.fu-berlin.de/polwiss/forschung/systeme/ffu/>

Auftraggeber

MEW Mittelständische Energiewirtschaft Deutschland e.V.,

AFM+E Aussenhandelsverband für Mineralöl und Energie e.V.,

Bundesverband freier Tankstellen e.V. (BFT) sowie

UTV Unabhängiger Tanklagerverband

Ansprechpartner:

Dr. Steffen Dagger

Geschäftsführer MEW

Jägerstr. 6

10117 Berlin

Autoren

PD Dr. Lutz Mez

E-Mail: lmez@zedat.fu-berlin.de

Sandu-Daniel Kopp, M.A.

sdkopp@zedat.fu-berlin.de

Die vertretenen Positionen liegen in der Verantwortung der Autoren und spiegeln nicht notwendigerweise die Position des gesamten FFU wider.

1. Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Vorgehensweise und Ziele	1
2. Biokraftstoffe	2
2.1 Politische Rahmenbedingungen	2
2.2 Entwicklung, Status Quo, Perspektiven	3
2.3 Herausforderungen und Tankstelleninfrastruktur	5
2.4 Schlussfolgerungen und Agenda	7
3. Erdgas, Biomethan und Flüssiggas	8
3.1 Politische Rahmenbedingungen	8
3.2 Entwicklung, Status Quo, Perspektiven	8
3.3 Herausforderungen und Tankstelleninfrastruktur	9
3.4 Schlussfolgerungen und Agenda	12
4. Elektromobilität	12
4.1 Politische Rahmenbedingungen	12
4.2 Entwicklung, Status Quo, Perspektiven	14
4.3 Herausforderungen und Tankstelleninfrastruktur	15
4.4 Schlussfolgerungen und Agenda	16
5. Wasserstoff- und Brennstoffzelle	17
5.1 Politische Rahmenbedingungen	17
5.2 Entwicklung, Status Quo, Perspektiven	17
5.3 Herausforderungen und Tankstelleninfrastruktur	19
5.4 Schlussfolgerungen und Agenda	20
6. FAZIT: Mobilität der Zukunft und Perspektiven für mittelständische Tankstellen	21

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1: Bestandsentwicklung der Erdgasfahrzeuge in Deutschland ^[16]	8
Abb. 2: Erdgasfahrzeuge: Notwendige Absatzentwicklung zur Erreichung der Zielpotenziale 2020 ^[16]	9
Abb. 3: Treibhausgasemissionen WTW unterschiedlicher Kraftstoffe ^{[16][33]}	9
Abb. 4: THG-Minderungspotenzial von Bio-Erdgas gegenüber der fossilen Referenz ^[16]	10
Abb. 5: Nationale Plattform Elektromobilität: Struktur ^[58]	13
Abb. 6: Anteil der Wasserstofffahrzeuge am Bestand in Europa für die Szenarien der IEA und des HyWays-	19

Tabellenverzeichnis:

Tab. 1: Beitrag erneuerbarer Energien zum Kraftstoffverbrauch in Deutschland 3

Tab. 2: Kurzübersicht Biokraftstoffoptionen 4

Tab. 3: Lade- und Tankzeiten von Fahrzeugen 14

Tab. 4: NOW-Entwicklungsplan: Mobile Anwendung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 18

Abkürzungsverzeichnis:

ASFE	Alliance for Synthetic Fuels in Europe
BMBF	Bundesbildungsministerium
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundeswirtschaftsministerium
BtL	Biomass to Liquid (FT-Diesel)
BP	Beyond Petroleum
CAR	Center for Automotive Research, Universität Duisburg
CEP	Clean Energy Partnership
CO ₂	Kohlendioxid
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
EE	erneuerbare Energie(n)
ETBE	Ethyl-tert-butylether
EtOH	Ethanol
EU	Europäische Union
FAME	Fettsäuremethylester
F&E	Forschung & Entwicklung
HVO	Hydrierte Pflanzenöle (von engl. Hydrogenated Vegetable Oils)
IEA	Internationale Energie Agentur
KLiB	Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen Batterien
LPG	Flüssiggas (Autogas)
NIP	Nationale Innovationsplattform Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff GmbH
NPW	Nationale Plattform Elektromobilität
PME	Palmölmethylester
Pöl	Pflanzenöl
RME	Rapsölmethylester
SME	Sojaölmethylester
THG	Treibhausgas(emissionen)
VCI	Verband der Chemischen Industrie e. V.
DWV	Deutscher Wasserstoffverband e. V.
WTT	Well-To-Tank (gesamter Kraftstoffpfad vom Rohstoff bis zur Zapfsäule)

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

Der Verkehrssektor in Europa und weltweit ist charakterisiert durch einen in den letzten Dekaden deutlich ansteigenden Energieverbrauch. Über die Hälfte des weltweit geförderten Rohöls wird für den Transportsektor aufgewendet und auch mittelfristig wird Erdöl Hauptenergiequelle dieses Sektors bleiben.

Gleichzeitig gilt der Verkehrssektor als einer der Hauptverursacher des anthropogenen Treibhauseffektes. Daher hat die EU im Jahr 2003 das Ziel ausgegeben die europäischen Treibhausgasausstöße bis 2050 um 80-95% verglichen mit dem Niveau von 1990 zu reduzieren. Dazu soll die Dekarbonisierung des Transportsektors einen entscheidenden Beitrag leisten.

Laut der EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (2009/28/EG) soll jeder EU-Mitgliedsstaat gewährleisten, dass der Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen bei allen Verkehrsträgern im Jahr 2020 mindestens 10% des jeweiligen Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor entspricht (Straßen- und Schienenverkehr).

Zum Erreichen dieser ambitionierten Zielsetzung sollen Biokraftstoffe als Alternative zu konventionellen Otto- und Dieselmotoren einen elementaren Beitrag leisten. Schon heute haben Biokraftstoffe einen signifikanten Anteil am europäischen Kraftstoffmarkt. Gleichwohl gilt es langfristig die Energieeffizienz im Verkehrssektor entscheidend zu erhöhen, weshalb die Zukunft alternativen Antriebstechnologien gehören soll. Zu diesen zählen mittelfristig der Erd- und Flüssiggasantrieb. Langfristig wird die Marktreife des Elektroautos sowie der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie angestrebt. Diese Entwicklung wird in den kommenden 10-15 Jahren Einfluss auf die Akteursstruktur des Tankstellenmarktes nehmen. Dabei müssen bei der Ausgestaltung der „Mobilität der Zukunft“ ökologische, technische, ökonomische und soziale Hürden genommen werden.

1.2 Vorgehensweise und Ziele

Im Rahmen der vorliegenden Kurzstudie sollen zwei zentrale Fragestellungen eruiert werden:

1. In welche Richtung entwickeln sich die (konventionellen und alternativen) Mobilitätskonzepte mittelfristig bis 2020 und langfristig bis 2050?
2. Welche Perspektiven ergeben sich aus der zu erwartenden Entwicklung für mittelständische Tankstellen?

Für die Beantwortung der Fragestellung wurden die folgenden Faktoren als relevant ausgemacht:

- Die Ausgestaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen für alternative Kraftstoffe und Antriebe auf nationaler und internationaler Ebene (Politik)
- Die Wirtschaftlichkeit der vorhandenen technologischen Konzepte einschließlich der notwendigen Versorgungsinfrastruktur für alternative Antriebssysteme (Wirtschaft)
- Der Forschungs- und Entwicklungsstand sowie die kommerzielle Verfügbarkeit der relevanten Antriebstechnik (Forschung und Industrie)
- Die Verfügbarkeit verwertbarer nachhaltig bereitgestellter Rohstoffe (Ressourcen)
- Der Informationsstand hinsichtlich und die Akzeptanzbereitschaft für neue Konzepte seitens der Verbraucher (Markt)

Implizit werfen diese Faktoren Leitfragen auf: Es gilt zu beantworten, welche politischen Strategien, Förder- und Anreizsysteme für den Verkehrssektor in Deutschland und Europa bestehen; d.h. welche Entwicklung im Bereich der alternativen Mobilitätskonzepte politisch erwünscht ist. Ferner soll die bisherige Entwicklung in den relevanten Sektoren betrachtet und der technologische sowie kommerzielle Status Quo der einzelnen Energieträger bzw. Technologien dargestellt werden. Auf Basis dessen sind wiederum die politischen, wirtschaftlichen und technologischen Hürden und Hemmnisse in den einzelnen Sektoren zu identifizieren. Schließlich und für die Ausgangsfrage maßgeblich soll die Frage nach einem realistisch erreichbaren Mix an Mobilitätskonzepten für 2020 beantwortet und ein Ausblick auf die mögliche Entwicklung bis 2050 gegeben werden, wobei insbesondere die Auswirkungen auf die Versorgungsinfrastruktur beleuchtet werden sollen.

Die Analyse fußt auf der Auswertung von Primärquellen (Gesetzestexte, Regierungsdokumente, Strategiepapiere, Statistiken etc.) und wissenschaftlichen Studien nationaler und internationaler Forschungseinrichtungen und Institutionen (EU-Kommission, Deutsche Energieagentur, Internationale Energieagentur, Center for Automotive Research Duisburg etc.). Zudem wurden Positionspapiere relevanter privatwirtschaftlicher Akteure und Verbände beachtet. Die zusammengetragenen Ergebnisse werden in der vorliegenden Kurzstudie gebündelt präsentiert und darauf beruhend werden Handlungsempfehlungen für eine positive Entwicklung der einzelnen Sektoren formuliert. Schließlich werden Schlußfolgerungen für die Perspektiven mittelständischer Tankstellen als Versorger von Biokraftstoffen, Strom, Wasserstoff und Gas gezogen.

2. Biokraftstoffe

2.1 Politische Rahmenbedingungen

Legislative Grundlage für die Biokraftstoffindustrie in der EU sind die Biokraftstoff-Richtlinie (2003/30/EG) und Energiesteuer-Richtlinie (2003/96/EG) von 2003 sowie die 2009 erfolgte Anpassung durch die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (2009/28/EG).

Die Biokraftstoff-Richtlinie gibt vor, dass die Mitgliedsstaaten bereits 2010 einen Biokraftstoffanteil von 5,75% am Fahrzeugkraftstoffverbrauch erreichen (gemessen am Energiegehalt).^[1] Die Energiesteuerrichtlinie ermöglicht es, die Mineralöl- bzw. Energiesteuer für Biokraftstoffe um bis zu 100% zu senken.^[2] Die Anpassung durch die Erneuerbare-Energien-Richtlinie gibt wiederum verbindlich vor, dass der Anteil erneuerbarer Energieformen innerhalb der EU bis 2020 auf 20% zu steigern ist. Die Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe soll im gleichen Zeitraum auf einen Anteil von 10% am Gesamtkraftstoffverbrauch gesteigert werden. Als erneuerbare Kraftstoffquellen gelten hier, neben Biokraftstoffen, auch Elektrizität und Wasserstoff.^[3]

Voraussetzung für die Förderung und Anrechnung auf die EU-Ziele ist die nachhaltige Produktion von Biokraftstoffen für den Transportsektor. Hierfür gibt die Erneuerbare-Energien-Richtlinie Kriterien vor, die sicherstellen sollen, dass künftig nur noch nachhaltig erzeugte Biokraftstoffe im Transportsektor zum Einsatz kommen. Durch die eingesetzten Biokraftstoffe muss eine Minderung der Treibhausgasemissionen (THG) von mindestens 35% bzw. ab 2017 von 50% im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen erreicht werden. Biokraftstoffanlagen, die ab 2018 gebaut werden, müssen Treibhausgaseinsparungen von 60% erreichen (bezieht sich auf g CO₂ eq/MJ Kraftstoff).^[3]

Um die angestrebten Treibhausgaseinsparungen zu erreichen reguliert die EU den CO₂-Ausstoß von PKW und leichten Nutzfahrzeugen: Die Verordnung 2009/433/EG sieht vor, den Durchschnittsausstoß von Neuwagen ab 2012 auf 120g CO₂/km zu begrenzen. Im Jahr 2020 sollen 95g CO₂/km nicht überschritten werden. Für leichte Nutzfahrzeuge schlägt die EU-Kommission vor, dass die Ausstöße zwischen 2014 und 2020 von 175g auf 135g CO₂/km gesenkt werden. Sowohl bei PKW als auch bei leichten Nutzfahrzeugen sollen Bonusregelungen zum Einsatz kommen, die bei der Ermittlung des CO₂-Ausstoßes angerechnet werden. So ist eine Minderung um 5g CO₂/km durch die Beimischung von Biokraftstoffen (auch Biomethan) vorgesehen.^[4]

Auf Grundlage der Verordnung 2007/715/EG trat im September 2009 die Abgasstufe Euro 5 für PKW in Kraft. Die Abgasstufe Euro 6 wird am 01. September 2014 in Kraft treten. Die Euro -5-Norm begrenzt den Stickstoffoxidausstoß auf 60 mg/km für PKW mit Benzinmotor bzw. auf 180 mg/km bei Dieselfahrzeugen. Die Rußpartikelemissionen werden von 25 mg/km (Euro 4) auf 5 mg/km gesenkt. Die HC-NOx-Emissionen von Dieselmotoren werden auf 230 mg/km begrenzt. Die Grenzwerte von Kohlenstoffmonoxid bleiben unverändert bei 1000 mg/km bei Benzinmotoren bzw. 500 mg/km bei Dieselfahrzeugen. Im Rahmen der Euro-6-Norm wird ab 2013 eine Rückführung von Partikelemissionen um 66% sowie von NOx-Emissionen um 20% notwendig.^[5]

In Deutschland gilt seit dem 1. Januar 2007 das Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG; BT-Drs 16/2709). Die darauf beruhende Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) sieht vor, dass die THG-Menge des gesamten Kraftstoffverbrauchs (Otto-, Diesel und Biokraftstoffe) ab 2020 durch Biokraftstoffe um 7% gesenkt wird (bezieht sich auf g CO₂ eq/GJ Kraftstoff). Der § 37a des BImSchG legt zudem Mindestanteile für Biodiesel und Bioethanol im konventionellen Kraftstoff fest (gemessen am Energiegehalt): Vertreiber von Dieselmotoren haben bis zum 31. Dezember 2014 einen Anteil Dieselmotoren ersetzenden Biokraftstoffs von mindestens 4,4% sicherzustellen. Vertreiber von Ottomotoren haben einen Anteil Ottomotoren ersetzenden Biokraftstoffs von mindestens 2,8% jeweils für die Jahre 2009 bis 2014 sicherzustellen. Der vorgesehene Mindestanteil von Biokraftstoff an der Gesamtmenge Otto- und Dieselmotoren beträgt in den Jahren 2010 bis 2014 jeweils 6,25%. Dieser kann erreicht werden, indem eine dem Mindestanteil entsprechende Menge an reinen Kraftstoffen auf den Markt gebracht wird oder indem der Mindestanteil den fossilen Kraftstoffen als biogene Komponente beigemischt wird. Die Nichteinhaltung der vorgegebenen Mindestanteile führt automatisch zu Strafzahlungen für Kraftstoffunternehmen.^[6]

Am 24. Juni 2011 wurde die Änderung der Verordnung zur Durchführung der Regelungen der Biokraftstoffquote im Bundesgesetzblatt veröffentlicht. Der neue § 7 „Doppelte Gewichtung bestimmter Biokraftstoffe“ ermöglicht eine doppelte Anrechnung von Biokraftstoffen aus Abfall-, Reststoffen, zellulosehaltigem Non-Food-Material oder lignozellulosehaltigem Material auf die Erfüllung der Biokraftstoffquote. Künftig ist es demnach notwendig die Nachhaltigkeitsnachweise für Biokraftstoffgemische (bspw. 40% Biodiesel aus Raps, 35% aus Soja, 25% aus Abfall) aufzuteilen. Für Biodiesel aus Abfall muss ein eigener Nachhaltigkeitsnachweis erbracht werden, während andere Rohstoffe weiterhin als ein Nachweis geführt werden können.^[7]

Auf Grundlage des Gesetzes zur Förderung von Biokraftstoffen vom 15. Juli 2009 wiederum sollen ab 2015 die Treibhausgaseinsparziele für die Berechnung der Biokraftstoffquote und nicht mehr der Heizwert herangezogen werden. Dadurch soll der Fokus stärker auf die Verminderung von THG-Emissionen ausgerichtet werden.^[8]

Die nachhaltige Produktion der Biokraftstoffe muss in Deutschland seit dem Inkrafttreten der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (BioKraftNachV) am 2. November 2009 zertifiziert werden. Ab der Ernte 2010 werden zudem nur noch flüssige und gasförmige Kraftstoffe aus Biomasse gefördert, die bestimmte Nachhaltigkeitskrite-

rien erfüllen. So dürfen biogene Ausgangsstoffe bspw. nicht auf Flächen mit hohem Naturschutzwert oder mit hohem Kohlenstoffbestand angebaut werden.^[9] Bis zum Ende der laufenden Legislaturperiode plant das BMVBS in Zusammenarbeit mit den relevanten Akteuren eine Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie zu erarbeiten, die ein ganzheitliches Konzept mit konkreten energie- und klimapolitischen Zielen für die einzelnen Verkehrsträger darstellen soll.^[10]

2.2 Entwicklung, Status Quo, Perspektiven

Die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) bezifferte im März 2011 den deutschen Gesamtverbrauch von Biokraftstoffen 2010 mit 35,9 TWh. Die wichtigsten Biokraftstoffe in Deutschland sind Bioethanol und Biodiesel mit einem Anteil von 24,1% bzw. 74,1% am Gesamtverbrauch. Schließlich hat reines Pflanzenöl in Deutschland einen, wenn auch geringen, Marktanteil von 1,8%.^[11]

Diese Kraftstoffe gehören zur ersten Generation der Biokraftstoffe. Sie sind in großen Mengen am Markt erhältlich und ihre Produktionstechniken sind ausgereift und erprobt. Erzeugt werden diese Biokraftstoffe aus Pflanzenteilen und tierischen Abfällen (Biodiesel). Bei der Herstellung auf Pflanzenbasis entstehen Koppelprodukte, die in der Chemieindustrie, zur Energieerzeugung, als Düng oder als Tierfutter verwendet werden. In die Kategorie der ersten Generation fallen auch hydrierte Pflanzenöle (HVO), die eine hochwertige Kraftstoffkomponente darstellen.¹

Zur Klasse der Biokraftstoffe der zweiten Generation sind Biokraftstoffe zu zählen, die noch nicht in nennenswerten Mengen auf dem Markt erhältlich sind. Die Technologie für ihre Produktion ist zwar verfügbar, aber noch nicht ausreichend entwickelt bzw. effizient (bspw. Biomass to Liquid, BtL²).^[12]

Die gesetzliche Definition der Biokraftstoffe zweiter Generation lautet derzeit:^[13]

- synthetische Kohlenwasserstoffe oder synthetische Kohlenwasserstoffgemische, die durch thermochemische Umwandlung von Biomasse gewonnen werden, sowie
- Alkohole, die durch biotechnologische Verfahren zum Aufschluss von Zellulose gewonnen werden sowie
- Energieerzeugnisse, die einen Bioethanolanteil von 70 bis 90 Prozent enthalten

Die Entwicklung des Beitrages erneuerbarer Energien zum Kraftstoffverbrauch wird in Tab. 1 dargestellt. Die aus der DBFZ-Kurzstudie „Analyse zur Erreichung des Mindestziels von 10% erneuerbare Energien im Verkehrssektor“ von 2010 übernommene Tab. 2 gibt eine Übersicht über die derzeitigen Biokraftstoffoptionen in Deutschland (einschl. Stand der Technik, F&E-Bedarf und Infrastrukturkompatibilität).^[14]

Tab. 1: Beitrag erneuerbarer Energien zum Kraftstoffverbrauch in Deutschland^[11]

	Biodiesel	Pflanzenöl	Bioethanol	Summe Biokraftstoffe	Anteil am Kraftstoffverbrauch
	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[GWh]	[%]
1990	0	k.A.	0	0	0
1991	2	k.A.	0	2	0
1992	52	21	0	73	0,01
1993	52	31	0	83	0,01
1994	258	42	0	300	0,0
1995	310	63	0	373	0,1
1996	516	84	0	600	0,1
1997	825	94	0	919	0,1
1998	1.032	115	0	1.147	0,2
1999	1.341	146	0	1.487	0,2
2000	2.579	167	0	2.746	0,4
2001	3.611	209	0	3.820	0,6
2002	5.674	251	0	5.925	0,9
2003	8.253	292	0	8.545	1,4
2004	10.833	345	481	11.659	1,8
2005	18.570	2.047	1.674	22.291	3,7
2006 ¹⁾	29.310	7.426	3.540	40.276	6,3
2007	33.677	8.066	3.412	45.155	7,2
2008	27.812	4.188	4.673	36.673	5,9
2009	25.972	1.043	6.748	33.763	5,5
2010 ²⁾	26.641	636	8.662	35.939	5,8

¹⁾ In der Biodieselmenge 2006 ist auch Pflanzenöl enthalten, da bis August 2006 Biodiesel und Pflanzenöl gemeinsam erhoben wurden;

²⁾ Biokraftstoffmengen 2010: Biodiesel: 2.582.000 Tonnen, Pflanzenöl: 61.000 Tonnen, Bioethanol: 1.158.000 Tonnen;

Quelle: BMU-KI III 1 nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien- Statistik (AGEE-Stat);

k.A. = keine Angabe;

Stand: März 2011; Angaben vorläufig

¹ Die Firma Neste in Finnland entwickelt bspw. einen Kraftstoff aus Pflanzenöl, den sie NExBtL nennt. Dabei wird mit einem petrochemischen Verfahren ein hochwertiger Dieselmkraftstoff erzeugt. Zwar ist die Produktion vergleichsweise günstig und das Interesse der Fahrzeugindustrie groß. Aufgrund der Erzeugung auf Pflanzenölbasis ist NExBtL aber den Biokraftstoffen der 1. Generation zuzuordnen.^[15]

² Für BtL existieren bislang nur Versuchsanlagen. BtL der 2. Generation wird heute auf dem Markt nicht angeboten. Ein signifikanter Anstieg ist in dieser Dekade nicht zu erwarten. Der BtL-Anteil wird bis 2020 marginal bleiben (vgl. Tab. 2).^[14]

Tab. 2: Kurzübersicht Biokraftstoffoptionen^[14]

Biokraftstoffoption	Rohstoffe	Prozessschritte	Nebenprodukte	Technikstand + regionaler Fokus	F & E-Bedarf	Typische Anlagengröße (MW Kraftstoff)	Infrastrukturkompatibilität	Marktverfügbarkeit in signifikanten Mengen 2020
Konventionelle / heutige Biokraftstoffe (1. Generation)								
Pflanzenöl	Ölsaaten/-früchte (z.B. Raps, Soja, Ölpalme, Sonnenblume, perspektivisch z.B. Jatropha)	Vorkonditionierung, mechanische/Lösungsmittelextraktion, Raffination	Presskuchen, Schrot	kommerziell, weltweit mit Vielzahl von Anlagen etabliert	Variable Rohstoffe, Katalysatoren, Biodiesel Wäscher	4 bis 190	vorhanden	ja
Biodiesel (FAME)	Pflanzenöle (s.o.) und Fette (ebenso Tierfette, in D jedoch keine Quotenanrechnung)	Schritte der Pflanzenöl-Produktion, Raffinierung, Umesterung, Reinigung	(Presskuchen, Schrot), Glycerin (verschiedene Qualitäten), Fettsäuren	kommerziell, weltweit mit Vielzahl von Anlagen etabliert (EU, US)	Verwendung von Glycerin, Oxidationsstabilität, Kälteeigenschaften	4 bis 190	vorhanden	ja
Bioethanol	Zuckerhaltige Pflanzen (z.B. Zuckerrübe, Zuckerrohr), Stärkehaltige Pflanzen (z.B. Mais, Getreide, Maniok)	Vorkonditionierung, Zuckerextraktion/ Hydrolyse, Fermentation, Destillation, Endreinigung	Schlempe/DDGS (Wärme/Strom, falls Maische für Energieversorgung verwendet)	kommerziell, weltweit mit Vielzahl von Anlagen etabliert (v. a. US, LA)	Prozessintegration	7 bis 220	vorhanden	ja
Hydriertes Pflanzenöl (HVO)	Pflanzenöle (s.o.) und Fette (ebenso Tierfette, in D jedoch keine Quotenanrechnung)	Raffination, Hydrierung, Nachbehandlung		kommerziell, erste Anlagen verfügbar, regionaler Fokus, v. a. EU, SOA, LA	Erhöhung der Rohstoff-Variabilität	150 bis 800	Premium-Diesel	bedingt
Zukünftige Biokraftstoffe (2. Generation)								
Bioethanol	Lignozellulosehaltige Biomasse (z.B. Stroh, Holz, Miscanthus, ganze Getreidepflanzen)	Vorkonditionierung, Hydrolyse, Fermentation, Destillation, Endreinigung oder Vorkonditionierung, Vergasung, Gasreinigung/-konditionierung, katalytische Synthese, Nachbehandlung	Lignin oder Wärme/ Strom (wenn Lignin/ Maische für Energieversorgung verwendet) oder Methanol, Propanol, Butanol und Pentanol	Pilot- und Demonstrationsanlagen, weltweit (v.a. US, LA, EU), Markteintritt bis 2020 erwartet	Erhöhung der Energieeffizienz, Integration in Cellulase-Produktion	15 bis 185	vorhanden	gering
BtL (Fischer-Tropsch-Diesel)	Lignozellulosehaltige Biomasse (z.B. Holz, Miscanthus, Stroh), Schwerpunkt zunächst auf Holz	Vorkonditionierung, Vergasung, Gasreinigung/-konditionierung, FT-Synthese, Nachbehandlung (Hydrokracken, Isomerisierung)	Wachse, Naphtha (Wärme/Strom, falls Abgas und exotherme Wärme für Energieversorgung verwendet)	Pilot-/Demonstrationsanlagen (z.B. Choren/Freiberg), regionaler Fokus, v.a. EU Erste großtechnische Anlage(n) bis 2020 denkbar	Weiterentwicklung aller Prozessschritte	> 130 bis 500	Premium-Diesel	marginal
Biomethan (Bio-SNG)	Lignozellulosehaltige Biomasse (z.B. Holz, Miscanthus, Stroh), Schwerpunkt auf Holz	Vorkonditionierung, Vergasung, Gasreinigung /Konditionierung, Synthese (Methanisierung), Nachbehandlung	Wärme/Strom, falls Abgas und exotherme Wärme für Energieversorgung verwendet	Demonstrationsanlage (z.B. EEE/Güssing), regionaler Fokus, v.a. EU Markteintritt bis 2020 erwartet	Up-Scaling von bestehenden Anlage-Konzepten, z.B. Vergasungsreaktoren	23 bis 170	Einspeisung in Erdgasnetz und Anwendung in -motoren	marginal
Biomethan (Biogas)	Biogas-Substrate (z.B. Gülle/Dung, Bioabfälle, Mais, Gras, Maissilage, Getreideganzpflanzen)	Vorkonditionierung, anaerobe Fermentation, Gasreinigung/Konditionierung	Wärme/Strom (falls Fermentationsrückstände für Energieversorgung verwendet), sonst Schlempe als Dünger	kommerziell, erste Anlagen verfügbar, regionaler Fokus, v.a. EU, Potenzial weltweit, v.a. LA, SOA	Erhöhung Methan-Ausbeute, Verbesserung der Gasaufbereitung	5 bis 15	Einspeisung in Erdgasnetz und Anwendung in -motoren	ja

Im Jahr 2010 betrug der Anteil der Biokraftstoffe am Gesamtkraftstoffverbrauch in Deutschland 5,8% (vgl. Tab. 1), während Diesel und Ottokraftstoff 57,8% bzw. 36,4% ausmachten. Damit wurden die Vorgaben des Biokraftstoffquotengesetzes nicht eingehalten.^[17]

Der Nationale Aktionsplan für erneuerbare Energien der Bundesregierung sieht vor, dass der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor bis 2020 auf 13,2% ansteigt.^[14] Legt man die THG-Einsparvorgaben, die sich aus der Richtlinie 2009/28/EG und dem Biokraftstoffquotengesetz ergeben, zugrunde und geht von 60% THG-Minderung der eingesetzten Biokraftstoffe aus, ergibt sich für das Jahr 2020 ein Biokraftstoff-Anteil von 11,6% (bezogen auf die Gesamtmenge Otto, Diesel, Biokraftstoffe).^[12] Dieser Wert entspricht der Studie „Modell Deutschland“ des Öko-Institutes und der Prognos AG aus dem Jahr 2009. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass sich der Biokraftstoffanteil in Deutschland 2020 zwischen 10,5% und 13,6% bezogen auf den Energiegehalt bewegen wird.^[19] Die Auswertung der Fachliteratur lässt demnach darauf schließen, dass sich der Biokraftstoffanteil in Deutschland im Jahr 2020 zwischen 10,5 und 13,6% einpendeln wird.

Die bereits zitierte DBFZ-Kurzstudie zur Erreichung des Mindestziels von 10% erneuerbare Energie im Verkehrssektor geht hinsichtlich der Zusammensetzung der 2020 eingesetzten Biokraftstoffe von den folgenden „konservativen Annahmen“ aus:^[14]

- *Bioethanol (EtOH) wird durchschnittlich zu 10% beigemischt (Ottokraftstoff), da bis 2020 mit einer EU-weiten Freigabe von E10 zu rechnen ist; der Bedarf steigt damit, bezogen auf 2008, um etwa 150%*
- *Biodiesel (FAME) wird durchschnittlich zu 9% beigemischt (Diesel) bzw. als Reinkraftstoff genutzt, die absolute Menge ändert sich im Vergleich zu 2008 nur geringfügig*
- *Hydrierte Pflanzenöle (HVO) werden durchschnittlich zu 2% beigemischt (Diesel), die gesetzliche Beimischungsobergrenze für die Verwendung von bis zu 3 Vol % Co-Hydrotreating wird bis 2020 nicht ausgeschöpft.*^[14]
- *Pflanzenöl (Pöl) bleibt ohne steuerliche Vorteile und wird lediglich in teilweise landwirtschaftlichen Betrieben (beispielsweise zur Selbstversorgung) als Reinkraftstoff eingesetzt*
- *Biomethan erreicht im Erdgasnetz einen Beimischungsgrad zum im Kraftfahrtsektor eingesetzten Erdgas von 20%*^[20]
- *Biokraftstoffe der 2. Generation, wie beispielsweise BtL und Ethanol aus lignozellulosehaltiger Biomasse, spielen 2020 noch keine signifikante Rolle*^[21]

Basierend auf diesen Annahmen, dem Kraftstoffverbrauch 2008 sowie die in der Studie „Modell Deutschland“ für 2020 prognostizierte Gesamtverbrauchsmenge an Otto- (31,8%), Diesel- (57,4%) und Biokraftstoffen (10,7%) errechnet das DBFZ eine für 2020 mögliche Verteilung flüssiger Biokraftstoffe: EtOH (Getreide), EtOH (Zuckerrüben) und EtOH (Zuckerrohr): 3,5%; RME (Raps), RME (Soja) und PME (Palm): 5,6%; HVO (Palm), Pöl (Raps) und Biomethan: 1,3%. Sowohl der Bioethanol- als auch die Biodieselbedarf können durch die heimische Produktion gedeckt werden. Der RME-Bedarf wird 2020 voraussichtlich 2 Mio. t betragen und könnte auf einer in Deutschland verfügbaren Rapsanbaufläche von ca. 1,5 Mio. Hektar problemlos produziert werden (ohne Berücksichtigung von Ernteaussfällen).^[22] Die Kapazitäten der deutschen Biodieselproduktion sind derzeit doppelt so hoch wie der inländische Verbrauch. Ebenso ist der ansteigende Bioethanolbedarf geringer als die Kapazitäten der deutschen Produktionsstätten. Lediglich im Falle von Rapsöl wird es, laut DBFZ, aufgrund dessen Verwendung in der Lebensmittelindustrie teilweise zu Importen kommen müssen.^{[14][23]}

2.3 Herausforderungen und Tankstelleninfrastruktur

Solange alternative Antriebe (Elektroantriebe, Brennstoff- und Wasserstoffzelle) noch keine Marktdurchdringung erreicht haben, kommt Biokraftstoffen eine zentrale Rolle bei der Reduzierung von CO₂-Ausstößen bzw. der Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen zu. In der letzten Dekade sind die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor trotz erhöhter Verkehrsleistung gesunken.^[24] Einen signifikanten Beitrag zu dieser Entwicklung leisten Biokraftstoffe, wobei die zweite Generation ein deutlich erhöhtes CO₂-Einsparpotenzial von bis zu 90% gegenüber konventionellen Kraftstoffen aufweist. Für das Erreichen der durch die Bundesregierung und die EU vorgegebenen CO₂-Einsparvorgaben werden Biokraftstoffe weiterhin eine zentrale Rolle spielen, zumal sie sehr gut für die Nutzung in konventionellen Antriebssystemen geeignet sind.^[25]

Die Nutzung von Biokraftstoffen im Straßenverkehr hat insgesamt eine positive Entwicklung genommen und weist seit 2000 einen stetigen Aufwärtstrend auf. Trotz wachsenden Verkehrsaufkommens und der geographischen Lage Deutschlands inmitten Europas sind zwischen 1999 und 2010 die Emissionen aus dem Straßenverkehr um 31 Mio. Tonnen gesenkt worden.^[24]

Im Jahr 2007 wurde mit einem Absatzanteil von 7% ein vorläufiger Höhepunkt für Biokraftstoffe erreicht. Der Marktanteil von Biodiesel fiel allerdings von 12% in 2007 auf heute unter 7%.^[26] Grund hierfür ist die Besteuerung von Biodiesel (B100) und Pflanzenöl, die sich negativ auf den Wettbewerb im Dieselmärkte ausgewirkt hat. Der Absatz reiner Biokraftstoffe ist zusammengebrochen und zahlreiche kleinere Biodieselanbieter meldeten Insolvenz an.^[27] Das deutsche Tankstellennetz für Biodiesel schrumpfte von 1.900 auf weniger als 250, wodurch die Konkurrenz auf dem Dieselmärkte signifikant abnahm. Durch den Wegfall des „Preisregulators“ Biodiesel

wurde das vom Bundeskartellamt in der „Sektoruntersuchung Kraftstoffe“ im Mai 2011 festgestellte Oligopol der Mineralölkonzerne in Deutschland gestärkt.^{[12][28]}

Als Beimischkomponente ist der Absatz von Biodiesel aber weiter gestiegen. Den Vorgaben aus der europäischen Biokraftstoffrichtlinie und dem deutschen Biokraftstoffgesetz entsprechend, schuf die deutsche Automobilindustrie die technischen Voraussetzungen für eine Beimischung von Biodiesel zu konventionellem Diesel von 7% (B7). Die Beimischung von Ethanol stieg auf 10% (E10). Förderlich für diese Entwicklung war auch die „Roadmap Biokraftstoffe“ der Kfz-Hersteller, Kraftstoffhersteller und der Bundesregierung aus dem Jahr 2007. Kraftstoff- und Automobilwirtschaft sowie wissenschaftliche Einrichtungen arbeiten gemeinsam an der Entwicklung technisch und ökologisch optimierter künftiger Generationen von Biokraftstoffen. Ein Beispiel hierfür ist die „Alliance for Synthetic Fuels in Europe“ (ASFE).^[29]

Der verstärkte Fokus auf THG-Emissionsminderung ab 2015 (3%) bzw. 2020 (7%) stellt eine sehr große Herausforderung für die rechtzeitige Entwicklung und Einführung von Biokraftstoffen zweiter Generation dar. Diese Kraftstoffe sollen bis 2020 in größerem Maßstab zur Verfügung stehen, da sie den Ausstoß von CO₂, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoff um jeweils bis zu 90% senken können. Insbesondere die Herstellung von BtL und Bioethanol der zweiten Generation ist aber sehr kostenintensiv. Produktionsanlagen kosten in der Regel mehrere Hundert Millionen Euro.^[30]

Mittelfristig sind zum Erreichen der Beimischungsziele und der Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien synthetische Kraftstoffe notwendig. Die Erforschung und Entwicklung der neuen Biokraftstoffgeneration wird heute zum Großteil durch die öffentliche Hand vorangetrieben. Die Investitionsnotwendigkeit zur Steigerung der derzeit noch marginalen Produktion von synthetischen Kraftstoffen ist allerdings noch erheblich.^[31] Die notwendigen Investitionen seitens der Privatwirtschaft reichen alleine noch nicht aus, um die gesetzliche vorgeschriebenen Ziele zu erreichen.^[12]

Gleichzeitig besteht auf Seiten der Automobilindustrie ein hoher Forschungs- und Weiterentwicklungsbedarf bei den Motoren. Die technische Beimischungsgrenze von Biodiesel beträgt momentan 7%. Indirekt erhöhen lässt sich dieser Wert durch die Beimischung von Pflanzenöl während des Raffinierungsprozesses (Co-Hydrotreating) oder durch die Beimischung von HVO. Co-Hydrotreating ist derzeit politisch auf 3% begrenzt. Verwendete Fettsäuremethylester (FAME) führen bei einer höheren Beimischung zu technischen Problemen. Auch bei einer mehr als zehnpromtigen Beimischung von Ethanol kommt es zu einem signifikant gesteigerten Mehrverbrauch. Bei höheren Beimischungsquoten (bspw. E85%) müssen technische Modifizierungen bei den Antriebssystemen vorgenommen werden (Flex-Fuel-Fahrzeuge).^[31]

Neben der Erforschung und Entwicklung spielt der Vertrieb von Biokraftstoffen eine entscheidende Rolle, um die politisch für 2020 vorgegebenen Ziele für den Biokraftstoffsektor zu erreichen. Um einen erfolgreichen Aufbau der notwendigen Vertriebsinfrastruktur zu gewährleisten, ist die Politik gefordert, geeignete steuerliche und gesetzliche Rahmenbedingungen zu schaffen bzw. aufrechtzuerhalten.^[12]

Derzeit stellt sich das Tankstellennetz für Biokraftstoffe in Deutschland wie folgt dar:

Die Qualitätsnormen DIN EN 590 für B7 und E DIN 51626-1 für E10 gewährleisten die Beimischung von Biokraftstoffen. Biodiesel wird als reiner Kraftstoff (B100) an etwa 250 unabhängigen Tankstellen angeboten. Die Infrastruktur für (hauptsächlich aus Raps hergestelltes) Pflanzenöl ist trotz einer relativ hohen Nachfrage aufgrund des hohen Preises für fossiles Diesel noch sehr schwach ausgeprägt. Auch Pflanzenöl wird deutschlandweit an etwa 250 Tankstellen angeboten (zumeist Selbstverbraucheranlagen). Eine hohe Nachfrage besteht insbesondere in der Landwirtschaft. Viele Landwirte produzieren ihr Pflanzenöl daher noch selbst oder nutzen dezentrale Ölmühlen. Für den Bioethanolkraftstoff E85 (85% Bioethanol) gibt es etwa 200 Tankstellen in Deutschland. Die ersten Fahrzeuge, welche die sog. Flex-Fuel-Technologie nutzen und die E85 tanken können, werden bereits auf dem Markt angeboten. Serienfahrzeuge, die mit reinem Bioethanol (E100) fahren können, werden in Deutschland noch nicht angeboten. Eine Tankstelleninfrastruktur steht dementsprechend ebenfalls nicht zur Verfügung. Das gleiche gilt für BtL-Kraftstoffe, die sich noch in der Entwicklungsphase befinden.^[12]

2.4 Schlussfolgerungen und Agenda

Eine weitere positive Entwicklung des Biokraftstoffsektors, nicht zuletzt zum Erreichen der EU-Ziele zur Einsparung von THG-Emissionen, ist in erster Linie abhängig von den gesetzlichen Rahmenbedingungen national und international. Die Weiterentwicklung der neuen Technologien im Biokraftstoffsektor ist einerseits politisch gewollt, andererseits mit sehr hohen Kosten verbunden. Die Schaffung technologischen Know-hows (bspw. bei der Antriebstechnik) und notwendiger Produktionskapazitäten muss daher weiterhin durch politische Anreize gefördert werden. Ebenso entscheidend für den künftigen Erfolg von Biokraftstoffen wird die Verfügbarkeit nachhaltig angebaute Rohstoffe sein. Auch hier bedarf es klarer gesetzlicher Normen. Gleichzeitig gilt es die Verbrauchsinfrastruktur auszubauen und die Verbraucher über Neuentwicklungen ausreichend zu informieren. Ausgehend von der in diesem Kapitel dargestellten Situation im deutschen Biokraftstoffsektor können folgende Schlußfolgerungen gezogen und Handlungsempfehlungen an die Politik gegeben werden:

- Bei Betrachtung der bisherigen Entwicklung des Biokraftstoffsektors wird ersichtlich, dass die Entwicklung und Etablierung neuer Technologien in der Regel 10-20 Jahre in Anspruch nimmt. Dabei sind Investitionsbedarf und Technologiekosten bis zur Marktreife sehr hoch. Die bisherige Entwicklung wurde durch die öffentliche Hand befördert und die politischen Ziele für 2020 sind ambitioniert. Um sie zu erreichen sind langfristige Investitionssicherheit und Flexibilität bei den Mitteln zur Quotenerfüllung zentral. Daher ist die steuerliche Begünstigung von E85, B 100 und Biokraftstoffen der zweiten und dritten Generation als Investitionsanreiz über 2015 hinaus empfehlenswert. Negative Effekte, wie die Insolvenzwellen im Falle des Wegfalls der Begünstigungen für Biodiesel, zeigen, dass dies insbesondere für den Mittelstand essentiell ist.
- Der Fokus der F&E und finanziellen Förderung sollte angesichts der begrenzten Potenziale von Biokraftstoffen der ersten Generation auf Kraftstoffe der zweiten und dritten Generation gelegt werden. Das Ziel muss es sein die Produktionskosten zu senken, Nachhaltigkeitskriterien zu entwickeln und Produktionskapazitäten zu erhöhen. Gleichzeitig sollten nicht allein Beimischungen gefördert werden, sondern auch reine Kraftstoffe, die besonders hohe THG-Einsparpotenziale aufweisen.
- Ferner erscheint es notwendig, dass Steuerbegünstigungen, Qualitätsnormen und Quotenhöhen EU-weit einheitlich geregelt werden. Eine klare und verlässliche gesetzliche Normierung der Biokraftstoffe ist in der Produktion unerlässlich und insbesondere für die Kraftstoffvertreiber, welche für die von Ihnen angebotenen Biokraftstoffe haften, wichtige Geschäftsgrundlage. Hier gilt es einen gemeinsamen europäischen Ansatz zu forcieren und Handelshemmnisse durch einheitliche Zulassungsverfahren bei neuen Kraftstoffen bzw. Kraftstoffkomponenten zu vermeiden.
- Internationale Regelungen und Zertifizierungsmechanismen sind auch im Bereich der Nachhaltigkeits-sicherung notwendig. Bei Importen aus der EU und Drittländern muss gewährleistet sein, dass bspw. importierter Alkohol zur Beimischung oder Rohstoffe aus nachhaltigem Anbau stammen. Um gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Binnenwirtschaft nicht zu gefährden, sollten politische Bemühungen unternommen werden, dass die deutschen bzw. europäischen Nachhaltigkeitsstandards von Drittländern anerkannt werden. Ist dies gewährleistet, gilt es die bestehenden Import-Export-Regelungen konsequent umzusetzen und Behinderungen des Freihandels entgegenzutreten.
- Den 2011 im Zusammenhang mit der Einführung von E10 in Deutschland sichtbar gewordenen Akzeptanzproblemen für Biokraftstoffe ist künftig durch gezielte ausführliche Information der Verbraucher entgegenzutreten. Hierfür sollte seitens der Automobilindustrie, Mineralölwirtschaft, Verbraucherverbänden, Verbraucherzentralen und der Politik eine gemeinsame Informationsstrategie entwickelt werden.
- Gleichzeitig ist die Politik gefordert, sich mit dem vom Bundeskartellamt festgestellten „marktbeherrschenden Oligopol“ auf dem Tankstellenmarkt auseinanderzusetzen. Maßnahmen zur Verbesserung der Wettbewerbssituation sind zu entwickeln und Einwirkungen, die wettbewerbshindernd wirken können, sind zu vermeiden.

3. Erdgas, Biomethan und Flüssiggas

3.1 Politische Rahmenbedingungen

Die Förderung von Erdgas im Verkehrssektor basiert ebenfalls auf der europäischen Erneuerbare-Energien-Richtlinie 2009/28/EG, der Biokraftstoffrichtlinie 2003/30/EG (Biomethan), sowie den Verordnungen 2009/433/EG und 2007/715/EG zur Einsparung von CO₂ und weiteren Abgassausstößen (vgl. Kap. 2).

In Deutschland spielen das Biokraftstoffquotengesetz, die Kraftstoffstrategie und das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung eine Rolle:

Die Kraftstoffstrategie der Bundesregierung betont ausdrücklich das Klimaschutzpotenzial von Erdgas als Kraftstoff, die Verfügbarkeit der etablierten Technologie sowie das Vorhandensein einer ausgereiften Infrastruktur. Für 2010 sah das Kraftstoffkonzept vor, den Anteil von Erdgas am Gesamtkraftstoffmarkt auf 0,5-1% zu steigern, bis 2020 sollen 2-4% Marktanteil erreicht werden. Erdgas ist als Kraftstoff bis 2018 steuerbegünstigt.^[32]

Das Biokraftstoffgesetz ermöglicht es Biomethan als Beimischung zu Erdgas und als Reinkraftstoff zur Erfüllung der Beimischungsquoten anzurechnen. Hierbei muss seit dem 01. Juli 2010 die nachhaltige Produktion und Umwandlung sowie der nachhaltige Transport des Biomethans nachgewiesen und als Voraussetzung für die steuerliche Begünstigung staatlich zertifiziert werden.^[33]

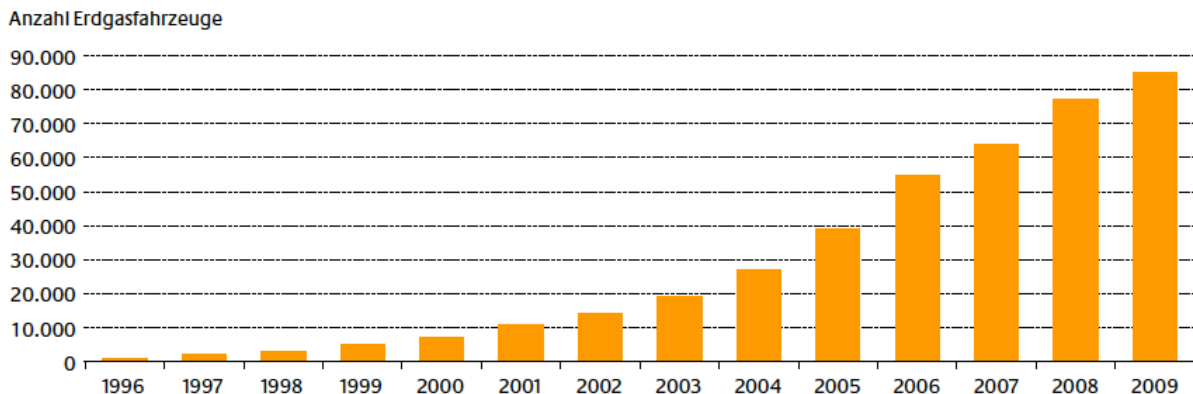
Darüber hinaus wird die Einspeisung von Biomethan in das Erdgasnetz durch das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung gezielt gefördert. Dieses trat am 12. April 2008 in Kraft und sieht bis 2020 eine jährliche Einspeisung von 6 Mrd. m³ Biomethan vor. Zwischen 2020 und 2030 soll die Einspeisung ca. 10 Mrd. m³ jährlich betragen. Dies entspricht etwa 60 Mrd. kWh bis 2020 bzw. 100 Mrd. kWh bis 2030 und stellt die Basis für die Nutzung von Biomethan als Kraftstoff dar.^[34]

3.2 Entwicklung, Status Quo, Perspektiven

Durch die gesetzlichen Maßnahmen zur Reduzierung von CO₂ im Allgemeinen und die europäischen Abgasstandards im Speziellen sind insbesondere bei Dieselfahrzeugen Kostensteigerungen zu erwarten, welche die vorhandenen Kostenunterschiede zu Erdgasfahrzeugen mindern könnten. Dennoch konnten die Vorgaben der deutschen Kraftstoffstrategie von 0,5-1% Erdgasanteil am Gesamtkraftstoffverbrauch für 2010 nicht annähernd erreicht werden:

In Deutschland werden derzeit etwa 85.000 Fahrzeuge mit Erdgas betrieben, was einem Marktanteil von 0,17% entspricht. Etwa 17.000 davon (20%) sind Nutzfahrzeuge, davon wiederum 1.800 schwere Nutzfahrzeuge und Busse. Der Absatz an Erdgasfahrzeugen ist seit 2008 sogar rückläufig. Während der Markt 2008 noch um 20% wuchs, stieg der Fahrzeugbestand 2009 nur noch um 10% (vgl. Abb. 1). Der Anteil von Erdgas am Gesamtkraftstoffverbrauch 2009 betrug 1,7 Mrd. kWh oder 0,3%. Das 1-Prozent-Ziel der Bundesregierung sah für 2010 einen Absatz von 540.000t bzw. 7 Mrd. kWh Erdgas vor. Dies wurde lediglich zu etwa 33% erreicht. Das für 2020 vorgesehene 2-4-Prozent-Ziel entspricht einem Absatz von 2,2 Mio. t bzw. 28 Mrd. kWh.^[20]

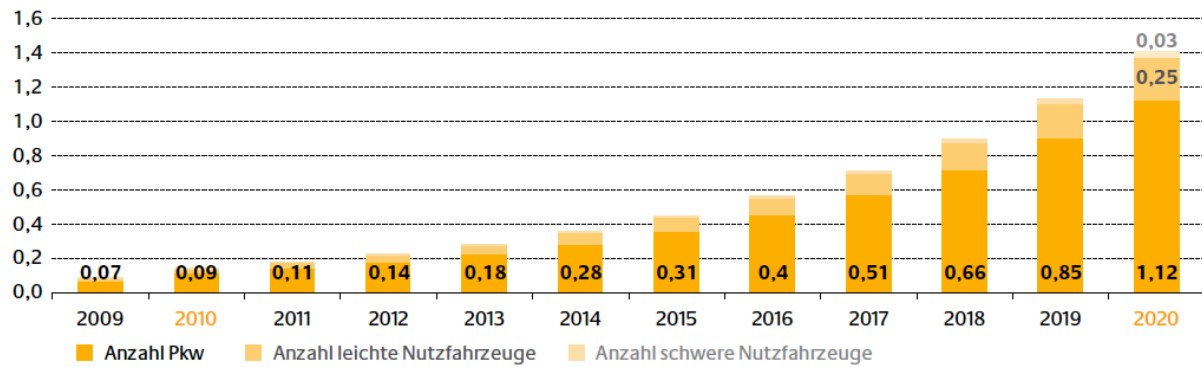
Abb. 1: Bestandsentwicklung der Erdgasfahrzeuge in Deutschland^[19]



Um einen Marktanteil von 2-4% zu erreichen, würde es 2020 ca. 1,4 Mio. Erdgasfahrzeuge bedürfen (ca. 1,1 Mio. PKW sowie 250.000 leichte und 30.000 schwere Nutzfahrzeuge). Der Erdgasfahrzeugbestand müsste jährlich um etwa 29% des jeweiligen Vorjahresbestandes anwachsen, was einer Verdreifachung der Wachstumsrate von 2009 entspräche (vgl. Abb. 2).^[20]

Abb. 2: Erdgasfahrzeuge: Notwendige Absatzentwicklung zur Erreichung der Zielpotenziale 2020^[19]

Anzahl Erdgasfahrzeuge in Mio.



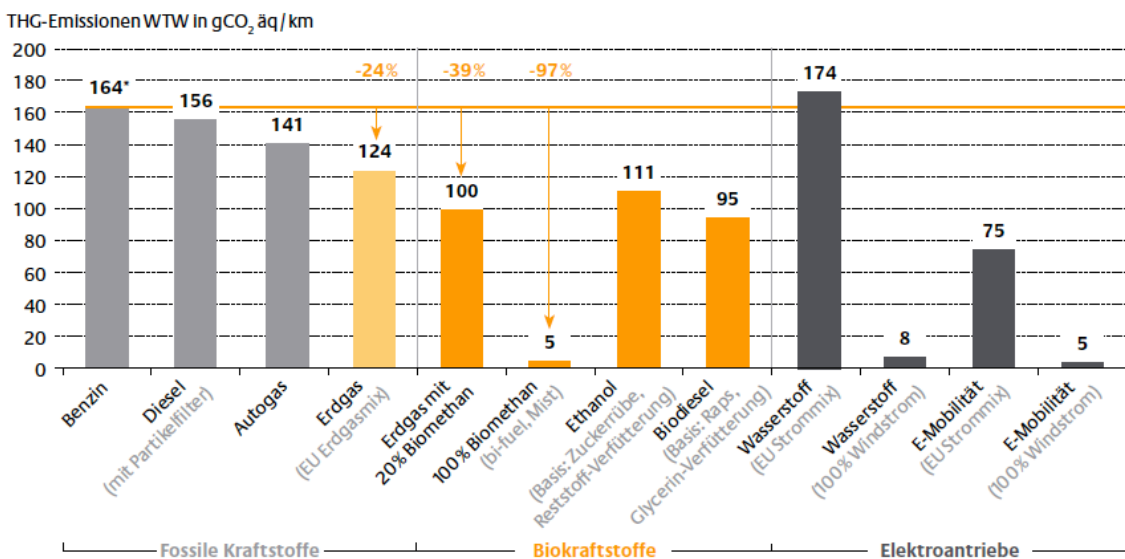
Das von der Gaswirtschaft für 2020 vorgesehene Mischungsverhältnis Erdgas zu Biomethan beträgt 80:20. Dem entsprechend müssten 2020 ca. 5,6 Mrd. kWh Biomethan für die Kraftstoffnutzung produziert werden. Dies wiederum entspräche etwa 10% der Menge, die für 2020 auf Grundlage der Gasnetz Zugangsverordnung insgesamt vorgesehen ist.^{[34][20]}

Diese Ziele sind sehr ambitioniert und von der realen Marktsituation momentan weit entfernt. Auch deshalb wurde im Jahr 2010 ein von der Wirtschaft initiiertes Bündnis zur Förderung von Erdgas und Biomethan als Kraftstoff ins Leben gerufen. Die Deutsche Energieagentur koordiniert das Bündnis an dem Gasversorger, Biogasproduzenten, Tankstellen-Betreiber, Hersteller von PKW und Nutzfahrzeugen, Gastechnikern, Nutzerverbänden sowie das Bundesverkehrsministerium beteiligt sind. Die Initiative möchte auf die Vorteile der Kraftstoffoption Erdgas und Biomethan als Brückentechnologie bis zur Marktreife von Elektromobilität und Wasserstoff aufmerksam machen und dadurch dazu beitragen das Marktanteilsziel von 2-4% für das Jahr 2020 zu erreichen.^[20]

3.3 Herausforderungen und Tankstelleninfrastruktur

Erdgas als Kraftstoff kann einen wesentlichen Beitrag zur Einsparung von CO₂-Emissionen im Verkehrssektor leisten. Laut einer Studie des CAR-Instituts der Universität Duisburg weist Erdgas im Hinblick auf THG-Emissionen ein deutlich größeres Einsparpotenzial als andere fossile Kraftstoffe auf. Durch den Einsatz von Erdgas als Kraftstoff können etwa 24% Emissionseinsparung erreicht werden (Liquified Petroleum Gas, Flüssiggas: ca. 14%). Durch die Beimischung von Biomethan zu Erdgas steigt das Einsparpotenzial nochmals signifikant. Bei einer zwanzigprozentigen Beimischung betragen die Einsparungen bis zu 39%. Wird reines Biomethan genutzt, können Einsparungen von bis zu 97% erreicht werden. Diese Werte werden selbst von Brennstoffzellenfahrzeugen oder batteriebetriebenen Fahrzeugen nur erreicht, wenn der genutzte Strom und Wasserstoff zu 100% aus regenerativer Erzeugung stammen (vgl. Abb. 3).^[36]

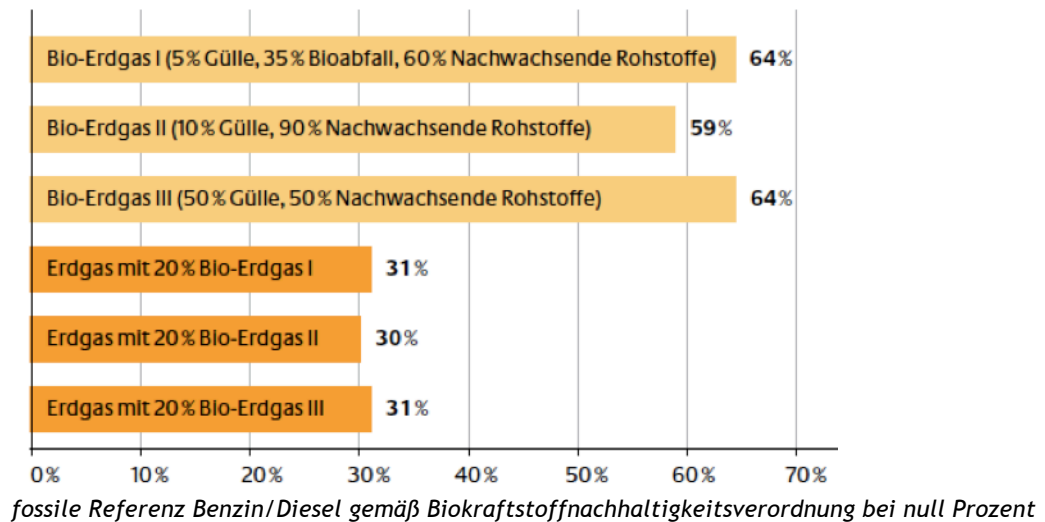
Abb. 3: Treibhausgasemissionen WTW unterschiedlicher Kraftstoffe^{[20][37]}



* Referenzfahrzeug: Ottomotor (Benzin, Saugmotor), Verbrauch: 7l/100 km

Auch die derzeitigen Bereitstellungskonzepte von Biomethan erreichen bzw. übertreffen das von der EU geforderte Treibhausgasreduzierungsziel von 35% und stellen vor dem Hintergrund von Flächenkonkurrenzen mit der Lebensmittelindustrie eine vielversprechende Option dar, welche den Vorgaben der Biokraftstoffnachhaltigkeitsverordnung ebenfalls mehr als entspricht (vgl. Abb. 4). Bio-Erdgas in Deutschland wird aus nachwachsenden Rohstoffen, Gülle, Rest- und Abfallstoffen erzeugt, was zu vergleichsweise geringen THG-Emissionen führt. Für das Jahr 2020 sieht die Bundesregierung eine jährliche Produktion von 60 Mrd. kWh Bio-Erdgas vor, was einem Vielfachen der für den Kraftstoffsektor notwendigen Menge entspricht. Laut Erdgasindustrie soll der Anteil eingespeisten Biomethans bis 2020 auf 20% steigen.^[20]

Abb. 4: THG-Minderungspotenzial von Bio-Erdgas gegenüber der fossilen Referenz^[20]



Ein weiterer Vorteil von Erdgas als Kraftstoff ist die Ausgereiftheit der Technologie. Prinzipiell bieten die Automobilhersteller (Mercedes Benz, Fiat, Ford, Opel, MAN, IVECO etc.) in allen Klassen Erdgas-Fahrzeuge an, deren Fahrleistung, Reichweite und Kofferraumvolumen konventionellen Fahrzeugen entsprechen.^[37] Dennoch besteht auch in diesem Bereich Ausbaubedarf. So wurden 2008 lediglich ca. 2% der angebotenen Fahrzeuge auch als Erdgasvariante angeboten.^[38]

Die Umrüstung von Erdgasfahrzeugen ist heute deutlich kostengünstiger als die Technologie für Elektrofahrzeuge bzw. Brennstoffzellen- und Wasserstoffantriebe. Die Kosten für das Einsparen einer Tonne THG-Ausstoß sind bei Erdgasfahrzeugen mit 387-444 Euro (Euro/tCO₂äq) vergleichsweise gering (Autogas: 684 Euro/tCO₂äq; Hybridantriebe: 1.000 Euro/tCO₂äq). Einzig Biokraftstoffe sind günstiger. Mit steigendem Biomethan-Anteil im Erdgas sinken die Kosten beträchtlich. Bei einer Beimischung von 100% Biomethan fallen sie auf 104 Euro/tCO₂äq.^[37]

Die Nutzung von Erdgas als Kraftstoff kann zudem die Reichweite fossiler Energieträger für den Verkehrssektor verlängern. Erdgas ist global in vergleichsweise großen Mengen vorhanden. Durch technologische Fortschritte insbesondere im Bereich der Schiefergasförderung³ wurden die Schätzungen zur Reichweite der globalen Erdgasvorkommen von etwa 50-70 Jahre auf über 100 Jahre nach oben korrigiert.^[39] Mittelfristig kann eine schrittweise Substitution von Erdgas durch in Deutschland produziertes Biomethan dazu beitragen die Abhängigkeit von Erdgasimporten sogar zu verringern.^[40]

Trotz der genannten Vorteile und einer Steuerbegünstigung, die für die Kraftstoffnutzer bis Ende 2018 die Kosten halbiert, wird Erdgas vom Markt bisher nicht ausreichend aufgenommen. Ein zentrales Problem hierfür dürfte sein, dass die Preise für Erdgas an der Tankstelle in Kilogramm ausgezeichnet werden, wodurch ein unmittelbarer Vergleich mit anderen Kraftstoffen für die Nutzer erschwert wird. Durch die politisch gewollte Diversifizierung von Kraftstoffen dürfte diese Problematik weiter zunehmen: Benzin, Diesel und Autogas werden in Liter ausgezeichnet, Erdgas und Wasserstoff in Kg und Strom in kWh. Um dem Verbraucher einen Preisvergleich zu ermöglichen, sollte daher die Preisauszeichnung auf die Energieinhalte der Kraftstoffe bezogen werden (bspw. in 10 kWh). Betrachtet man diese, so wird ersichtlich, dass Erdgas derzeit mit 0,73 Euro/10 kWh etwa 50% günstiger als Benzin, 34% günstiger als Diesel und 18% günstiger als Flüssiggas ist. Strom kostet an der Tankstelle etwa 2,3-2,4 Euro/10 kWh. Den Wasserstoffpreis für das Jahr 2020 schätzen Experten momentan auf etwa 1,5 Euro/10 kWh.^[20]

Ein weiterer Grund für den geringen Anteil von Erdgas am Kraftstoffmarkt ist die mangelhafte Informiertheit

³ Durch die ökonomisch gewordene Förderung von Schiefergas haben die USA Russland als weltgrößten Erdgasproduzenten überholt. Mittelfristig könnten die USA von einem der größten Erdgasimporteure zum Erdgasexporteur werden.

der Verbraucher. Repräsentative Umfragen zeigen, dass mehr als 33% der Autofahrer Erdgas und Autogas gleichsetzen bzw. bzgl. der Einordnung unsicher sind. 60% derer, die den Unterschied kennen, haben bislang nicht erwogen, Erdgas als Kraftstoff zu nutzen. 46% derer wiederum, die über die Nutzung von Erdgas als Kraftstoff nachgedacht haben, verwarfen ihre Pläne aufgrund von hohen Anschaffungskosten bzw. weil es zu wenige Erdgastankstellen in Deutschland gäbe (43%). 17% haben nicht ausreichend Vertrauen in die Technologie und 11% haben Sicherheitsbedenken.^[41] Vor diesem Hintergrund ist es nicht überraschend, dass Deutschland bei einem globalen Vergleich der Länder mit einem nennenswerten Anteil an Erdgasfahrzeugen mit 0,08 Mio. zugelassenen Automobilen einen hinteren Platz belegt (Argentinien: 1,76 Mio.; Brasilien: 1,59 Mio.; Italien: 0,58 Mio.; Indien: 0,31 Mio.; China: 0,23 Mio.; USA: 0,09 Mio.).^[20]

Schließlich hat Erdgas als Treibstoff in Flüssiggas einen Konkurrenten am Markt, der gegenüber Mineralölprodukten ebenfalls bis 2018 steuerlich begünstigt ist. Während die Entwicklung im Bereich der Erdgasfahrzeuge aber bislang hinter den Zielsetzungen blieb, wuchs der Marktanteil von Autogasfahrzeugen seit 2005 jährlich. Im August 2010 waren in Deutschland etwa 400.000 Autogasfahrzeuge zugelassen.^[42] Die jährlichen CO₂-Einsparungen durch Autogas betragen heute etwa 200.000t. Wissenschaftliche Untersuchungen, wie bspw. der TU München oder der Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), bescheinigen Autogas eine nahezu gleichwertige Umweltbilanz gegenüber Erdgas. Die prinzipiell bessere THG-Bilanz von Erdgas (vgl. Abb. 3) wird einerseits durch Leckage während des Transports getrübt. Andererseits muss Erdgas für die Nutzung im Fahrzeug sehr stark komprimiert werden, was mit einem sehr hohen Energieaufwand verbunden ist. Erwähnenswert ist auch, dass es für Flüssiggas bereits eine europäische Qualitätsnorm gibt, während die Beschaffenheit von Erdgas an Tankstellen und damit die CO₂-Ausstöße und maximale Reichweite variieren können.^{[43][44]}

Eine Studie von McKinsey & Company aus dem Jahr 2008 kommt zu dem Schluss, dass weder Erdgas noch Autogas ohne steuerliche Anreize wirtschaftlich eine Marktchance hätten. Mit den bestehenden Begünstigungen liegen die Amortisationszeiten von Erdgas und Flüssiggas heute jeweils bei ca. 4 Jahren. Die Umrüstung von Ottomotoren für die Nutzung von Flüssiggas wird von zahlreichen Autowerkstätten angeboten, ist unabhängig vom Fahrzeugmodell wenig anspruchsvoll und vergleichsweise kostengünstig. Die Anschaffungs- bzw. Umrüstungsinvestitionen für Erdgasfahrzeuge liegen etwas höher, was aber durch die niedrigeren Kraftstoffpreise innerhalb der ersten vier Jahre fast vollständig ausgeglichen wird.^[38]

Ein wichtiger Faktor für die weitere Entwicklung der Marktanteile von Erdgas und Flüssiggas ist die Tankstelleninfrastruktur. 2010 gab es in Deutschland etwa 900 öffentlich zugängliche und zum Großteil rund um die Uhr geöffnete Erdgastankstellen (gegenüber einer Gesamtanzahl von 14.500). Bei Erreichen der Zielvorgaben für 2020 (Kraftstoffmixanteil von 4% und ca. 1,4 Mio. Erdgasfahrzeuge) könnten 4.000 Tankstellen wirtschaftlich betrieben werden. Dies würde bedeuten, dass etwa 50% der größeren Tankstellen mit sechs oder mehr Zapfsäulen mit der Option Erdgas ausgestattet würden.^[20]

Die Kosten für eine reguläre Tankstelle, die Diesel, LKW-Diesel, Super E5, Super E 10, Super Plus und Autogas anbietet, liegen heute bei etwa 2,5 Mio. Euro. Für jede Erdgas-Zapfstelle fallen zusätzliche Kosten in Höhe von etwa 150.000 Euro an. Während eine reguläre Tankstelle im Jahr durchschnittlich etwa 4 Mio. Liter Kraftstoff absetzt, liegt der Absatz von Erdgas heute bei lediglich 60.000 - 120.000 Litern/Kg jährlich. Die bestehenden Erdgasleitungen von 400.000 km Länge sind einerseits ein struktureller Vorteil von Erdgas gegenüber Flüssiggas oder Wasserstoff. Andererseits begeben sich die Tankstellenbetreiber in eine Abhängigkeit von einigen wenigen Unternehmen der Gaswirtschaft. Da die Investitionen in Erdgastankstellen, aufgrund der hohen Kosten, in der Regel von den Erdgasversorgern selbst getätigt werden, sind die Tankstellenbetreiber zumindest für einen gewissen Zeitraum an den jeweiligen Erdgaslieferanten gebunden.^[45]

Versorgungslücken gilt es insbesondere an Hauptverkehrsadern zu schließen. An Bundesautobahnen bieten momentan lediglich zwei von 385 Tankstellen und 24 von 210 Autohöfen Erdgas an. Weitere 125 Tankstellen finden sich in einer Entfernung von weniger als einem Kilometer von einer Autobahn. Eine betriebswirtschaftlich sinnvolle Auslastung läge bei 200 PKW pro Tankstelle. Derzeit beträgt die Auslastung in Deutschland aber lediglich 90 PKW pro Tankstelle. (zum Vergleich Italien: 830 PKW/Tankstelle; Schweden: 183 PKW/Tankstelle). Das Erdgastankstellennetz soll daher so ausgebaut werden, dass künftig in Städten alle fünf Kilometer eine Tankmöglichkeit besteht, in Mischgebieten alle 10-15 km und auf dem Land alle 20-25 km.^[20]

Autogas gibt es bereits heute an etwa 6.250 öffentlichen Tankstellen in Deutschland. Die Infrastruktur wurde zum Großteil von mittelständischen Unternehmen der Flüssiggasbranche errichtet. Laut dem Deutschen Verband Flüssiggas e.V. investierten private Investoren und Autofahrer bislang ca. 1,2 Mrd. Euro in den Flüssiggas-sektor. Die Umrüstung der Flüssiggas-Fahrzeuge und die Ausrüstung für die Autogasantriebe erfolgt i. d. R. ebenfalls vorrangig durch kleine und mittelständische Betriebe.^[42]

Gleichzeitig entwickelt sich der Absatz von Autogasfahrzeugen sehr positiv (2009: +21,5%). Für 2015 rechnet ExxonMobil, laut einer Prognose vom Mai 2011, mit etwa 535.000 zugelassenen Autogasfahrzeugen in Deutschland. Neben ExxonMobil wies Ende Januar 2011 auch die Expertenkommission zur Bewertung alternativer Antriebe der Europäischen Kommission Autogas eine tragende Rolle bei der Energiewende zu. Der Zwischenbericht des Gremiums betonte, dass Flüssiggas-Fahrzeuge mit ca. 5 Mio. Einheiten bereits heute einen Anteil von

3% am gesamteuropäischen Fahrzeugaufkommen aufweisen. Zudem sei im Bereich Autogas eine EU-weit gewachsene Versorgungsinfrastruktur von etwa 27.000 Tankstellen vorhanden. Die Expertengruppe empfiehlt den Einsatz von Erdgas künftig für mittlere Distanzen und Flüssiggas für den Kurz-, Mittel und Langstreckenverkehr.^{[46][47]}

3.4 Schlussfolgerungen und Agenda

Die Analyse des Kraftstoffsektors Erdgas verdeutlicht in erster Linie, dass Erdgas eine Kraftstoffoption ist mit sehr hohem CO₂-Einsparpotenzial. Die Technologie in diesem Sektor ist ausgereift und zu vergleichsweise günstigen Preisen verfügbar. Darüber hinaus ist die notwendige Vertriebsinfrastruktur bereits vorhanden. Dennoch konnten sich Erdgasfahrzeuge bislang nicht wie politisch gewünscht etablieren, was angesichts der vorangegangenen Darstellungen in diesem Kapitel zu den folgenden Handlungsempfehlungen für die Politik führt:

- Angesichts des beträchtlichen CO₂-Einsparpotenzials von Erdgas in Kombination mit Biomethan von bis zu 97% gilt es Fördermechanismen für diese Kraftstoffoption über das Jahr 2018 hinaus festzulegen.
- Ferner sollten die in der deutschen Kraftstoffstrategie formulierten Ziele zum Anteil von Erdgas am Gesamtkraftstoffmarkt beibehalten werden. In Ergänzung zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität wäre es zudem sinnvoll, die Potenziale von Biomethan als Kraftstoff in der Strategie stärker hervorzuheben.
- Die energiesteuerliche Begünstigung von Erdgas als Kraftstoff sollte fortgeführt werden. Vor dem Hintergrund der THG-Minderungsziele für 2020 ist eine steuerliche Besserstellung von Erdgas gegenüber Flüssiggas aber nicht zu empfehlen. Angesichts der europaweit sehr günstigen Entwicklung des Flüssiggas-Marktes (Fahrzeugzulassungen und insb. Infrastruktur), der damit verbundenen THG-Einsparungen und der wirtschaftlichen Bedeutung von Autogas für den deutschen Mittelstand, sollte den Empfehlungen der von der EU-Kommission eingesetzten Expertengruppe für alternative Kraftstoffe gefolgt und neben Erdgas auch Flüssiggas weiterhin gefördert werden.
- Eine EU-weite Initiative zur einheitlichen Preisauszeichnung bezogen auf die Energieinhalte der jeweiligen Kraftstoffe sollte angestoßen werden, um die gegenwärtige verbraucherfeindliche Preisauszeichnung zu beseitigen und Vergleichbarkeit der Preise über Grenzen hinweg zu ermöglichen.
- Das Tankstellennetz sollte weiter ausgebaut werden, wobei Anreize bspw. durch verringerte Netzentgelte in der Anlaufphase gesetzt werden könnten. Hierbei ist es zu erwägen, die Förderung des Infrastrukturaufbaus an Beimischungsquoten für Biomethan zu koppeln.
- Weiterhin ist eine, bspw. auf 5 Jahre, zeitlich begrenzte staatliche Unterstützung (steuerliche Abschreibungsmöglichkeiten etc.) beim Aufbau von Erdgastankstellen denkbar. Angesichts der erheblichen Kosten von Erdgastankstellen, würde dies die Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur durch den Mittelstand beschleunigen.
- Die Öffentliche Hand sollte die Erdgas-Technologie durch den Einsatz von Erdgasfahrzeugen in den eigenen Flotten fördern.
- Ein Zertifizierungssystem für den Einsatz von Biomethan im Kraftstoffmarkt auf Grundlage der Biokraftstoffnachhaltigkeitsverordnung ist unbedingt empfehlenswert.
- Eine einheitliche Kennzeichnung von Erdgas durch ein markenneutrales Logo mit Wiedererkennungswert sollte von allen Tankstellen einheitlich etabliert werden. Ausserdem sollte eine Kooperation von Politik, Gaswirtschaft, Verbraucherverbänden und Tankstellenbetreibern auf eine optimierte Information der Verbraucher hinsichtlich der Potenziale von Erdgas als Kraftstoff hinwirken.

4. Elektromobilität

4.1 Politische Rahmenbedingungen

Zum Erreichen der europäischen Ziele zur Verminderung von CO₂ und THG-Emissionen (vgl. Kap. 2.1: 2009/28/EG; 2009/433/EG; 2007/715/EG) soll Elektromobilität einen zentralen Beitrag leisten.

Das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung zielt in erster Linie auf Elektromobilität, die einerseits einen Beitrag zur Einsparung von CO₂-Emissionen leisten und andererseits künftig als Speichermedium für schwankend anfallenden Strom aus erneuerbaren Quellen dienen soll.^[48]

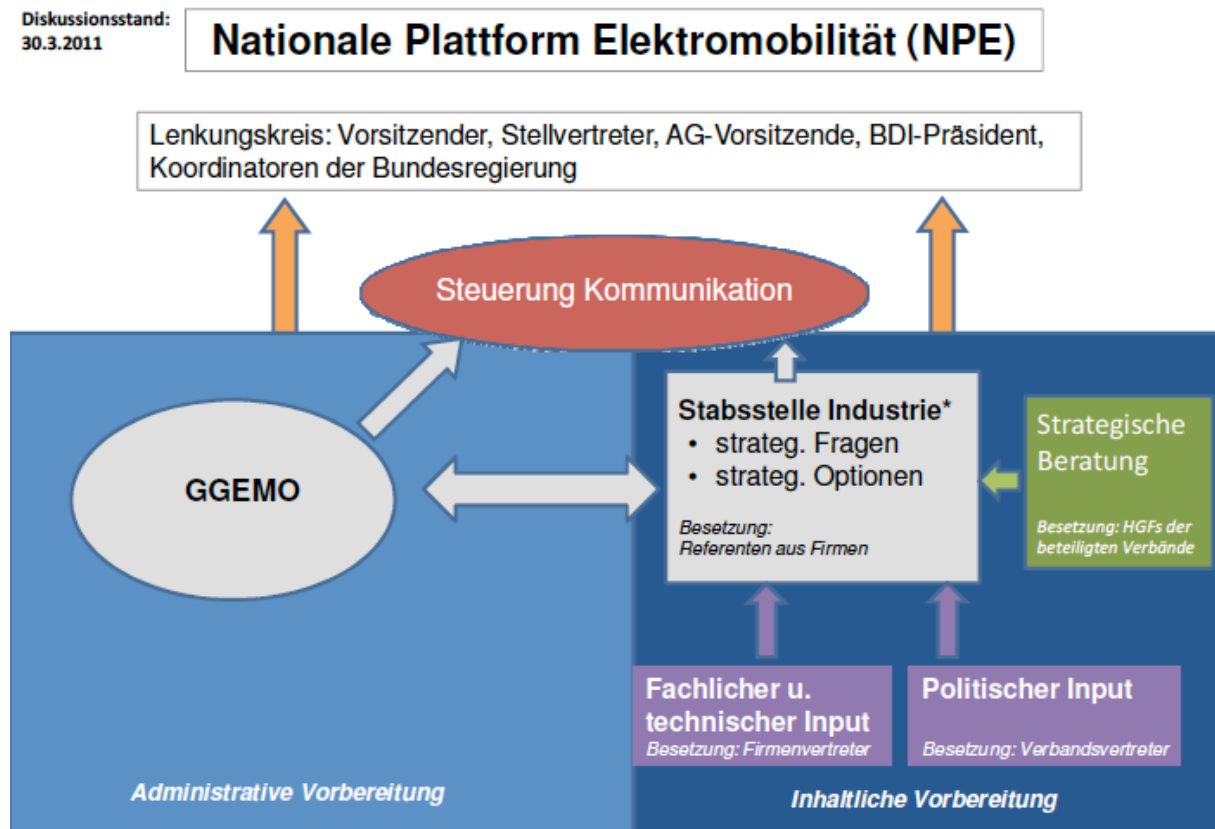
Im August 2006 legte die Bundesregierung mit der Hightech-Strategie erstmals ein Gesamtkonzept vor, das die Entwicklung von Hochtechnologie in der Bundesrepublik durch Kooperation zwischen Politik, Industrie, Gewerkschaften und Gesellschaft fördern soll. Zu den zentralen Zielen dieses Ansatzes gehört es CO₂-Emissionen zu begrenzen, die Energieeffizienz zu steigern und den Umbau der Energieversorgung in Richtung erneuerbare Quellen und nachwachsende Rohstoffe voranzutreiben. Der Elektromobilität soll dabei eine wichtige Rolle zukommen. Das Ziel von 1 Mio. Elektroautos bis 2020 wurde in der Hitech-Strategie zum ersten Mal genannt. Im Juli 2010 beschloss die Bundesregierung diesen Ansatz durch die Hightech-Strategie 2020 weiterzuverfolgen.^[49]

Anfang Mai 2010 gründete die Bundesregierung die „Nationale Plattform Elektromobilität“ (NPE), eine Kooperationsinitiative zwischen Forschung und Industrie, die aus der „Nationalen Initiative Elektromobilität“ von 2009 hervorgegangen ist. Die NPE soll der Erforschung und Weiterentwicklung anwendungsnaher Technologie dienen.

Sieben Arbeitsgruppen innerhalb der NPE erarbeiten zu diesem Zweck politische Handlungsempfehlungen zur Förderung der Markteinführung neuer Technologiekonzepte (vgl. **Abb. 5**).^[50]

Zur NPE gehören auch Vertreter der Branchenverbände: Stark vertreten ist die Chemieindustrie, deren Vertreter den Vorsitz in den Arbeitsgruppen „Batterietechnologie“ und „Materialien und Recycling“ inne haben. Stark vertreten sind sie darüber hinaus in der Arbeitsgruppe „Nachwuchs und Qualifizierung“. Bereits im Oktober erarbeiteten die Arbeitsgruppen sog. „Roadmaps“ für ihren Zuständigkeitsbereich. Ende November 2010 übergab die NPE ihren ersten Zwischenbericht an Bundeskanzlerin Merkel. Mitte Mai 2011 veröffentlichte die Bundesregierung ihr Regierungsprogramm zur Elektromobilität, im Rahmen dessen die Empfehlungen des zweiten NPE-Berichts umgesetzt werden sollen.^[50]

Abb. 5: Nationale Plattform Elektromobilität: Struktur^[62]



Die Förderung der Elektromobilität ist in Deutschland politisch gewollt. Im Rahmen der Hightech-Strategie 2020 der Bundesregierung fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) seit 2008 die „Innovationsallianz Lithium-Ionen-Batterie“ (LIB 2015) mit 60 Mio. Euro. Die Industrie steuert weitere 360 Mio. Euro bei.^[51]

Das Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) wiederum investiert zwischen 2009 und 2012 35 Mio. Euro in die Entwicklung elektrischer Speicher. Damit soll die Grundlage zur Umsetzung einer vollständigen Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Stromspeicher geschaffen werden.^[52]

Zwischen 2010 und 2014 beträgt der Finanzierungsbedarf für die Arbeitsgruppe Batterietechnologie im Rahmen der NPE 1,5 Mrd. Euro, wovon die öffentliche Hand 600 Mio. Euro stellt. Für die Etablierung einer Pilotproduktionsanlage sind 200 Mio. Euro vorgesehen. Die Kosten für Ressourcen zur Herstellung von Zellmaterial werden auf 150 Mio. Euro geschätzt. 400 Mio. Euro sollen für die Erforschung von Leichtbautechnologien aufgewendet werden, 100 Mio. Euro für Rohstoffe und 200 Mio. Euro für Hochschul- und Schulungskonzepte.^[52]

Zur Förderung einer beschleunigten Markteinführung der Elektromobilität stellt die Bundesregierung im Zeitraum 2012-2013 1 Mrd. Euro für Forschungs- und Entwicklungsprogramme zur Verfügung. Alle Maßnahmen stehen unter dem Dach der Hightech-Strategie 2020 und zielen vorrangig auf systemübergreifende Schaufenster- bzw. Leuchtturmprojekte in den Bereichen Batteriezellen und -systeme (insbesondere industrielle Förderung in Deutschland), Elektromotor und Leistungselektronik sowie Speichermanagement, Ladeinfrastruktur und Netzintegration.^[52]

In ihrem „Regierungsprogramm Elektromobilität“ spricht sich die Bundesregierung „für die Etablierung einer Batteriezellenproduktion in Deutschland“ und „für eine schnelle Entwicklung entsprechender wettbewerbsfähiger Produktions- und Fertigungstechnologien“ aus.^[53] Das BMBF und das Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen Batterien (KLiB) unterzeichneten im Mai 2011 eine Absichtserklärung über Errichtung und Betrieb einer Pilotanlage für Lithium-Ionen-Zellen in Ulm. Die Anlage soll KLiB-Mitgliedsunternehmen „im vorwettbewerblichen Umfeld als Plattform für Forschung und Entwicklung“ dienen. Insbesondere mittelständische Unternehmen sollen einbezogen werden.^[54]

Darüber hinaus fördert das BMBF die Kompetenzverbände Elektrochemie mit 30 Mio. Euro aus dem Konjunkturpaket II für Hochschulforschung im Bereich der Elektrochemie.^[55]

4.2 Entwicklung, Status Quo, Perspektiven

Das Ziel der Bundesregierung sind 1 Mio. in Deutschland zugelassene PKW im Jahr 2020. Im Jahr 2010 waren lediglich 2.300 Elektroautos zugelassen. Laut CAR-Institut in Duisburg könnten es 2020 weniger als 600.000 Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen geben.^[56]

Grund hierfür ist, dass die Technologie der Elektrofahrzeuge noch immer am Anfang steht. Es besteht immenser Forschungsbedarf, um Langlebigkeit, Wirtschaftlichkeit, Gewicht und Reichweite der Fahrzeuge wettbewerbsfähig zu machen. In Sachen Nachhaltigkeit, Ökobilanz und Rohstoffbedarf müssen bis zur Serienreife ebenfalls noch Tests durchgeführt bzw. Normen eingeführt werden. Die Energiespeicher der Elektrofahrzeuge weisen derzeit eine Reichweite von etwa 60-120 km bei einem Leistungsgewicht von 120-150 Wh/Kg auf. Die Lebensdauer beträgt je nach System 500-6.000 Ladezyklen, während die Kosten 700-1.000 Euro pro kWh Speicherkapazität betragen. Die Ladezeiten liegen heute bei 5-8 Stunden, womit sie deutlich länger sind als das Auftanken von Diesel-, Benzin-, Gas- oder Brennstoffzellenfahrzeugen (vgl. Tab. 3). Das einminütige Auftanken eines Elektrofahrzeugs reicht für einen km Fahrt, während wenige Minuten Betankung eines heutigen Dieselfahrzeugs für mehr als 1.000 km Fahrt ausreichen.^[14]

Tab. 3: Lade- und Tankzeiten von Fahrzeugen^[58]

	Ladestationen/Tankstellen	Ladezeit/Betankungszeit
Batteriefahrzeug	Private Ladestellen	8-10 Stunden-normale Langsamladung
	Öffentliche Ladestellen	0,5-4 Stunden-Schnellladung
	Batteriewechselstationen	3-15 Minuten-Batteriewechsel
Brennstoffzellenfahrzeug	Wasserstofftankstelle (öffentlich)	<3-5 Minuten

Dessen ungeachtet ist der Elektromotor attraktiv. Der Wirkungsgrad des Elektromotors liegt bei 80-90%, wobei der erzeugte Strom mit einem Gesamtwirkungsgrad von 40-45% genutzt wird. Bis 2020 wird die Reichweite der Elektrofahrzeuge etwa 200 km erreichen. Dabei ist zu beachten, dass über 70% der Autofahrten in Deutschland Kurzstrecken unter 17 km sind.^[62]

Elektrofahrzeuge sollen künftig als Zwischenspeicher von Energie aus erneuerbaren Quellen dienen. (Im Jahr 2006 bspw. konnten etwa 15% des durch Windkraft erzeugten Stroms nicht in das Netz eingespeist werden). Damit sie dies leisten können, müssen neue, effizientere Technologien entwickelt werden. Vom heutigen Leistungsstand ausgehend ist eine Steigerung der Energie- und Leistungsdichte bei Elektro- und Hybridfahrzeugen von etwa 5-10% notwendig. Die Entwicklung fokussiert derzeit auf die vielversprechende Lithium-Ionen-Technologie, die heute aber nur in kleinen Dimensionen realisierbar ist und noch Risiken birgt. So können heute genutzte Materialien große Batterien durch Überladen oder Unfälle zur Explosion bringen. Neue technologische Ansätze sind notwendig, um den höheren Anforderungen hinsichtlich Energie- und Leistungsdichte, Lebensdauer, Sicherheit und Optimierung der Kosten gerecht werden zu können.^[51] Hervorzuheben ist zudem, dass der CO₂-Ausstoß von Elektroautos sehr stark vom Stromerzeugungsmix abhängig ist. Beim derzeitigen deutschen Strommix verursachen Elektrofahrzeuge kaum weniger CO₂-Emissionen als konventionelle Verbrennungsmotoren (ca. 110g CO₂/l). Elektroautos sind aus ökologischer Sicht vor allem dann sinnvoll, wenn sie ausschließlich mit Ökostrom fahren.^[57]

Grundsätzlich wird bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen Energie entweder über Batterien oder über wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen zur Verfügung gestellt. Dabei ist die Speicherung und Bereitstellung von Energie über Batterien grundsätzlich energieeffizienter und weist ein größeres THG-Einsparpotenzial auf.^[59] Bislang werden Elektrofahrzeuge nur in Kleinserie gebaut (z.B. Tesla Roadster, Mini E, Smart EV, Renault Clio/Kangoo électrique etc.). Sie sind deutlich teurer als Automobile mit konventionellen Antrieben.^[14] Die Industrie schätzt die Mehrkosten für ein Elektrofahrzeug der Kompaktklasse im Jahr 2015 auf etwa 15.000 Euro. Um Elektrofahrzeuge wettbewerbsfähig zu machen müssen diese Kosten deutlich gesenkt werden.^[60]

Dabei bevorzugt die Mehrheit der Fahrzeughersteller Batterien zur Energiebereitstellung, einzig die Daimler AG verfolgt noch eine Wasserstoffstrategie, wengleich sie sich in Zusammenarbeit mit Evonik auch im Batterie-

segment engagiert. Nach Angaben von Daimler steht die Serienproduktion von Lithium-Ionen-Batterien bereits kurz bevor. Diese sollen schon in der nächsten Generation des Kleinwagens Smart zum Einsatz kommen. Der Smart fortwo electric drive wird bereits seit 2009 in Serie gebaut, die A-Klasse E-Cell wird als Mietwagen angeboten. Zudem plant Daimler als erster deutscher Automobilhersteller ganze Antriebseinheiten mit einem Zulieferer, nämlich der Firma Bosch, zu bauen.^[61]

VW plant 2013 zwei Elektrofahrzeuge auf den Markt zu bringen (E-Golf und der neue Kleinwagen Up), ebenso BMW (i3 und i8 versehen mit einem Plug-In-Hybridantrieb). Opel plant für das letzte Quartal 2011 den „Ampera“, der auf Strecken bis zu 80 km rein elektrisch fahren können wird. Das Fahrzeug wird zusätzlich über einen Verbrennungsmotor verfügen, der als sog. „Range Extender“ die Batterien während der Fahrt aufladen können wird. Für 2013 kündigte Opel ein reines Elektrofahrzeug an. Audi arbeitet ebenfalls an einem Konzept mit Range-Extender, das im „A1 e-tron“ zum Einsatz kommen soll. Bereits in diesem Jahr wird der Q5 Hybrid vorgestellt, der als Wegbereiter für den reinen Elektroantrieb dienen soll. Porsche plant einen Großversuch zur Elektromobilität bei dem im Großraum Stuttgart drei E-Boxter zum Einsatz kommen werden.^[61]

4.3 Herausforderungen und Tankstelleninfrastruktur

Voraussichtlich werden Elektrofahrzeuge erst weit nach 2020 einen signifikanten Beitrag zur Energiespeicherung leisten können. Die vom Nationalen Entwicklungsplan der Bundesregierung vorgesehenen 1 Mio. Elektrofahrzeuge für das Jahr 2020 würden etwa 0,3% des derzeitigen Stromverbrauchs Deutschlands beanspruchen. Wissenschaft und Industrie schätzen, dass für den Ausbau der erneuerbaren Energien in den kommenden Dekaden eine Speicherkapazität von 10 TWh pro Woche zur Verfügung stehen müsste (Speicherkapazitäten für Tages- und Saisonschwankungen nicht eingerechnet). Um diese Speicherkapazität allein durch Elektroautos bereitzustellen, wären 500 Mio. Fahrzeuge in Deutschland notwendig (ausgehend von einer Speicherkapazität von 20 kWh/Auto, die bei einer Fahrtstrecke von 200 km in einer Woche verbraucht werden). Diese Zahlen verdeutlichen, dass der Einsatz von Elektrofahrzeugen als Tages-Kurzzeitspeicher für den Lastausgleich zur Netzstabilisierung zwar grundsätzlich sinnvoll sein kann, sie einen signifikanten Beitrag zur Energiespeicherung aber mittelfristig nicht leisten können werden.^[61] Hinzu kommt, dass eine nennenswerte Rückspeisung nur „im sehr kurzfristigen Zeitbereich“ als realistisch erachtet wird. So lässt sich annehmen, dass Halter von Elektrofahrzeugen im Falle einer angekündigten winterlichen Windflaute keine Rückspeisung erwägen, sondern vielmehr vorsorglich noch einmal aufladen würden. Aus dieser Sicht bestünde punktuell eher ein zusätzlicher Bedarf an einer gesicherten Grundversorgung.^[63]

Laut Annahmen der Automobilhersteller werden Elektro- und Hybridfahrzeuge langfristig, spätestens aber nach 2030, an Bedeutung zunehmen. Durch den Einsatz von Batterien und Brennstoffzellen verändert sich die Wertschöpfungskette in der Automobilindustrie und Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie neue Geschäftsmodelle fallen an. Daher ist die deutsche Industrie gefordert kompetitiv zu bleiben. 2010 wies das CAR-Institut der Universität Duisburg darauf hin, dass Deutschland Gefahr laufe den internationalen Anschluß im Bereich der Elektromobilität zu verpassen. Die Förderung in diesem Bereich sei „zu stark föderalistisch auf Kleinprojekte ausgerichtet“ und es fände dadurch „Doppelt- und Dreifachforschung“ statt.^[64]

Der zweite Bericht der NPE betont dennoch die Chancen, die sich in Deutschland durch die Elektromobilität ergeben. Er geht davon aus, dass sich die staatlichen Subventionen für die Elektromobilität ab 2018 für den Bundeshaushalt mit einem positiven Finanzsaldo auszahlen werden. So bestehe bspw. ein Potenzial an 30.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen bis 2020.^[65] Laut dem Unternehmensberater McKinsey wird das Weltmarktvolumen für energieeffiziente PKW im Jahr 2020 bis zu 500 Mrd. Euro erreichen. Der Markt für Lithium-Ionen Batterien könnte bis 2015 von derzeitigen 1,4 Mrd. auf 4 Mrd. Euro und bis Ende des Jahrzehnts sogar auf über 10 Mrd. Euro anwachsen.^[62] Das CAR-Institut Duisburg schätzt den Markt für Hochtechnologie-Stromspeicher auf ca. 130 Mrd. Euro im Jahr 2025. Der Wertschöpfungsanteil macht heute bis zu 40% des Elektrofahrzeugs aus.^[65]

Zu beachten ist jedoch, dass heute 90% der Lithium-Ionen Batterien in Asien produziert werden. In Deutschland sind derzeit etwa 50 Mio. Kraftfahrzeuge zugelassen (davon ca. 42 Mio. PKW), während weltweit etwa 1 Mrd. Automobile am Verkehr teilnehmen. Das verdeutlicht, dass der globale Markt ausschlaggebend dafür sein wird, welche Technologien sich schlußendlich durchsetzen werden.^[64]

Ein weiterer Faktor, der sich hinderlich auf die Entwicklung der Elektromobilität auswirken könnte, sind Rohstoffe. Für die Produktion von Lithium-Ionen Batterien sind zahlreiche metallische Rohstoffe notwendig (als Anodenmaterial Mischoxide und Phosphate von Lithium mit Nickel, Mangan, Eisen und Kobalt, als Kathodenmaterial hauptsächlich Graphit, aber auch Silizium, sowie Oxide von Lithium, Titan und Zinn, als Elektroden-träger auch Kupfer und Aluminium.)^[62] Fachleute gehen davon aus, dass sich bei den Elektroden der Lithiumsysteme Kobalt als Rohstoff gegenüber Phosphat und Mangan durchsetzen wird, wodurch die weltweite Nachfrage nach Kobalt bis 2030 um 350% ansteigen könnte. Zudem wird die Nachfrage nach Aluminium, Kupfer und dem Seltenmetall Neodym deutlich ansteigen. Problematisch dabei ist, dass China, das über 95% der globalen Vorkommen an Metallen der Seltenen Erden verfügt, seine Rohstoffexporte sehr stark beschränkt.^[66]

Ein zentrales Problem für die Elektromobilität stellt schließlich die heute noch unzureichende Ladeinfrastruktur da. Zur Schaffung der für eine Mio. Elektroautos (2020) notwendigen Infrastruktur müssen beträchtliche

Investitionen getätigt werden. Die Kosten für den Aufbau einer Ladeinfrastruktur für ca. 1 Mio. batteriebetriebene Elektrofahrzeuge werden auf etwa 1-2 Mrd. Euro geschätzt, abhängig vom Anteil an Schnellladestationen.^[67] Bestehende „Battery-swap-Konzepte“ sind heute, aufgrund der Inkompatibilität der unterschiedlichen Systeme, lediglich als Nische für Flotten mit Fahrzeugen gleicher Bauart denkbar. Als Grundlage eines Mobilitätskonzepts ist Battery-swap aus heutiger Sicht unrealistisch, da der Ansatz mit erheblichen Batteriekosten verbunden ist, die ohne massive staatliche Zuschüsse nicht zu tragen wären. Laut Prof. Herbert Kohler, Leiter der Abteilung „E-Drive and Future Mobility“ der Daimler AG, sind „95% der Autohersteller“ nicht an einer Einheitslösung bei Batterien interessiert.^[68]

Forschung und Industrie gehen währenddessen davon aus, dass sich die Elektromobilität aufgrund des Forschungsbedarfs im Bereich der Batterietechnik frühestens in 10-15 Jahre als Massenmarkt etablieren können wird. Zudem sind die sog. „Smart Grids“, die eine nachhaltige Nutzung der Elektromobilität (als Energiespeicher etc.) ermöglichen würden, ebenfalls noch in der Entwicklung. Vehicle-to-grid-Einspeisung ist heute noch nicht Stand der Technik. Unter diesen Umständen sind privatwirtschaftliche Investitionen in den Ausbau der Ladeinfrastruktur nicht zu erwarten, da Investitions- bzw. Planungssicherheit fehlen.^[69] Prinzipiell kann ein ausreichender Ausbau der öffentlichen Ladesäulen für 1 Mio. Fahrzeuge durch die Energiewirtschaft erfolgen. Angesichts des erheblichen Investitionsbedarfs, werden hier Anreize durch die öffentliche Hand zumindest besprochen werden müssen. Die NPE hat dazu festgestellt, dass in einer ersten Phase des Markthochlaufs der Bedarf für eine öffentliche Ladeinfrastruktur gering ist. Auch auf lange Sicht werden nach den Analysen der NPE die meisten Ladepunkte nicht öffentlich sein, da die große Überzahl der Ladevorgänge zuhause oder am Arbeitsplatz erfolgen wird.^[65] Dennoch gilt eine öffentliche Ladeinfrastruktur als Voraussetzung für den langfristigen Erfolg der Elektromobilität. Bei der Schaffung dieser sind Politik und Privatwirtschaft gefordert, attraktive Rahmenbedingungen zu schaffen bzw. Investitionen zu tätigen.

4.4 Schlussfolgerungen und Agenda

Die Bundesregierung möchte Deutschland durch die NPE und den damit verbundenen Förderprogrammen zur Förderung der Elektromobilität zu einem Innovationsstandort für eine moderne und nachhaltige Mobilität machen, dadurch den Wirtschaftsstandort Deutschland stärken und die Abhängigkeit von fossilen Kraftstoffen mindern. Dabei gilt es eine Effizienzsteigerung bei Automobilen zu erreichen, fossile Kraftstoffe durch alternative Kraftstoffe zu ergänzen und langfristig konventionelle Verbrennungsmotoren durch alternative Antriebssysteme zu ersetzen.

Um diese Ziele zu erreichen, gilt es:

- die F&E-Anstrengungen in der Elektrochemie und der Batterietechnologie weiter zu steigern,
- wirksame Anreizstrategien und -konzepte zur Förderung der Elektromobilität zu entwickeln,
- die Stromnetze und die Tankstelleninfrastruktur an die Erfordernisse der Elektromobilität anzupassen,
- den Anteil erneuerbarer Energien am Strommix auszubauen,
- Normen und Standards für die Technologien im Elektromobilitätssektor zu schaffen und
- ein nachhaltiges Recyclingsystem für Fahrzeugbatterien aufzubauen

Basierend auf der Darstellung und Analyse der bestehenden Fördermechanismen, der Entwicklung des Elektromobilitätssektors sowie der bestehenden Herausforderungen, werden hierfür die folgenden Handlungsempfehlungen gegeben:

- Angesichts des technologischen Entwicklungsstandes der Elektromobilität und den darauf basierenden Prognosen zur Entwicklung des Sektors bis 2025 bzw. 2030, ist für eine umfassende Mobilitätsstrategie für Deutschland zu beachten, dass Fahrzeuge mit konventionellen Verbrennungsmotoren auch in den kommenden 20 Jahren das Rückgrat der individuellen Mobilität bilden werden. Auch aus ökologischer Sicht sind Elektrofahrzeuge heute - und mittelfristig, je nach Entwicklung des deutschen Strommixes - noch nicht die sauberste Option. Daher gilt es übergreifende Besteuerungskonzepte zu entwickeln, die die Entwicklung anderer Energieträger, wie Biokraftstoffe und Erdgas, nicht behindern.
- Auch eine steuerliche Benachteiligung von Hybridfahrzeugen bzw. Plug-In-Konzepten gegenüber dem Elektroauto ist angesichts der langen Ladezeiten und geringen Reichweite zum heutigen Zeitpunkt nicht empfehlenswert.
- Elektroantriebe sind CO₂-neutral, sofern die verwendete elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen stammt. Es gilt daher den Ausbau der regenerativen Energie voranzutreiben. Gleichzeitig müssen aber Rechts- und Investitionssicherheit für die Energiewirtschaft und Fahrzeugnutzer gewährleistet werden. Das bedeutet bspw., dass der Strom an den Ladestationen unabhängig von seiner Herkunft nicht mit einem unterschiedlichen CO₂-Faktor belegt werden darf. Auch darf keine Unterscheidung zwischen Strom zur Verwendung im Haushalt und zur Verwendung in Elektrofahrzeugen gemacht werden.
- Zudem ist sicherzustellen, dass künftig ein deutschlandweites Netz an öffentlich zugänglichen Ladestationen vorhanden ist. Der Kunde muss sowohl beim Fahrzeug als auch beim Stromanbieter und der Ladestation (bei öffentlichen und privaten) Wahlfreiheit haben. Übertragen auf das bekannte Tankstellensystem, entspräche das dem Angebot von Tanksäulen verschiedener Treibstofflieferanten an ei-

- ner Tankstelle. Eine Abhängigkeit des Verbrauchers von einigen wenigen Versorgern ist zu vermeiden.
- Investitionssicherheit für Hersteller, Betreiber von Ladestationen und Kunden ist zudem durch die Schaffung von Normen und Standards für die Technologien im Bereich der Elektromobilität zu gewährleisten. Nur durch die frühzeitige Normung und Standardisierung von Verfahren des Maschinen- und Anlagenbaus lassen sich Kostenreduzierungen erzielen, die für die Wettbewerbsfähigkeit der Elektromobilität Voraussetzung sind.
- Aus ökologischer Sicht ist die Standardisierung von Lebensdauer, Entsorgung und Recycling von Batterien zu empfehlen.
- Die Kosten von batteriebetriebenen Fahrzeugen sind heute noch immer deutlich höher als die Kosten für konventionelle Fahrzeuge. Auch die Mehrkosten für die Bereitstellung der Infrastruktur sind erheblich. Sowohl den Fahrzeugnutzern als auch den Anbietern von Ladestationen muss daher ermöglicht werden, einen Teil dieser Kosten in einem zumutbaren Zeitraum wieder zu erwirtschaften. Dies sollte durch die Steuergesetzgebung ermöglicht werden.

5. Wasserstoff- und Brennstoffzelle

5.1 Politische Rahmenbedingungen

Im Rahmen der Hightech Strategie haben das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), das Ministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), das Bundesbildungsministerium (BMBF) und das Bundesumweltministerium (BMU) die Nationale Plattform Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) aufgelegt. Das Programm ist politische Grundlage für zahlreiche Forschungsprojekte von Wissenschaft und Industrie. Es handelt sich dabei um eine Public Private Partnership (PPP). Bundesregierung und Industrie stellen zwischen 2007 und 2016 insg. 1,4 Mrd. Euro im Rahmen der NIP für F&E-Vorhaben und Demonstrationsprojekte zur Verfügung. Allein zwischen 2009 und 2011 fördert die Bundesregierung den Ausbau und die Marktvorbereitung der Elektromobilität mit 500 Mio. Euro aus dem Konjunkturpaket II. Zusätzlich werden Mittel des BMBF für Grundlagenforschung und Großforschungseinrichtungen im Bereich Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie bereitgestellt.^[70]

Ziel der NIP ist es durch die Kooperation zwischen Forschung, Industrie (insb. auch mittelständische Betriebe) und Anwender die Entstehung marktfähiger Produkte zu beschleunigen. Durch Demonstrations- und sog. „Leuchtturmprojekte“ soll die Alltagsanwendung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie erprobt und dadurch der Wirtschaftsstandort Deutschland gestärkt werden. Projekte sollen zunächst an ausgesuchten Standorten umgesetzt, nach und nach ausgeweitet und schließlich international vernetzt werden, so dass es zur gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur, Erfahrungsaustausch und Synergien kommen kann.^[70]

Zur Bündelung und Koordinierung der F&E- Projekte im Rahmen der NIP wurde Anfang 2008 die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH (NOW) gegründet. Einziger Gesellschafter der NOW GmbH, die ihren Sitz in Berlin hat, ist die Bundesregierung, vertreten durch das BMVBS. Aufgabe der NOW ist es zur Förderung des Aufbaus von Wasserstoffinfrastrukturen und der mobilen sowie stationären Anwendung der Brennstoffzelle beizutragen. Hierfür übernimmt sie die inhaltliche Koordination von Projekten, während die eigentlichen Projektträger für die wissenschaftlich-technische Ausgestaltung und Administration zuständig sind.^[71]

In den Bereich der mobilen Anwendung fällt das Wasserstoffdemonstrationsprojekt Clean Energy Partnership (CEP). Die CEP ist ein gemeinsames Projekt der Unternehmen Air Liquide, BMW Group, Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), Daimler, Ford, GM/Opel, Hamburger Hochbahn, Honda, Linde, Shell, Statoil, Total, Toyota, Vattenfall und Volkswagen. Die CEP ist eines der Leuchtturmprojekte im Rahmen des NIP und das größte europäische Vorhaben zur Erprobung von Wasserstoff als Kraftstoffoption für den Straßenverkehr (vgl. Kap. 5.3).^[72]

5.2 Entwicklung, Status Quo, Perspektiven

Deutschland möchte innerhalb des laufenden Jahrzehnts die Marktschwelle für die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie erreichen. Das höchste Marktpotenzial besteht für die Technologie im Bereich der mobilen Anwendung.^[71] Brennstoffzellen werden hier in der Raumfahrt, beim Militär und im Verkehr eingesetzt. Anwendungsbeispiele sind:^[73]

- Personenkraftwagen (2 x 25 kW Stacks)
- Busse (Stacks mit einer Gesamtleistung bis 120 kW)
- Schiffe (inkl. U-Boote) mit sehr unterschiedlicher Leistung
- Spezialanwendungen in der Weltraum- und Militärtechnik

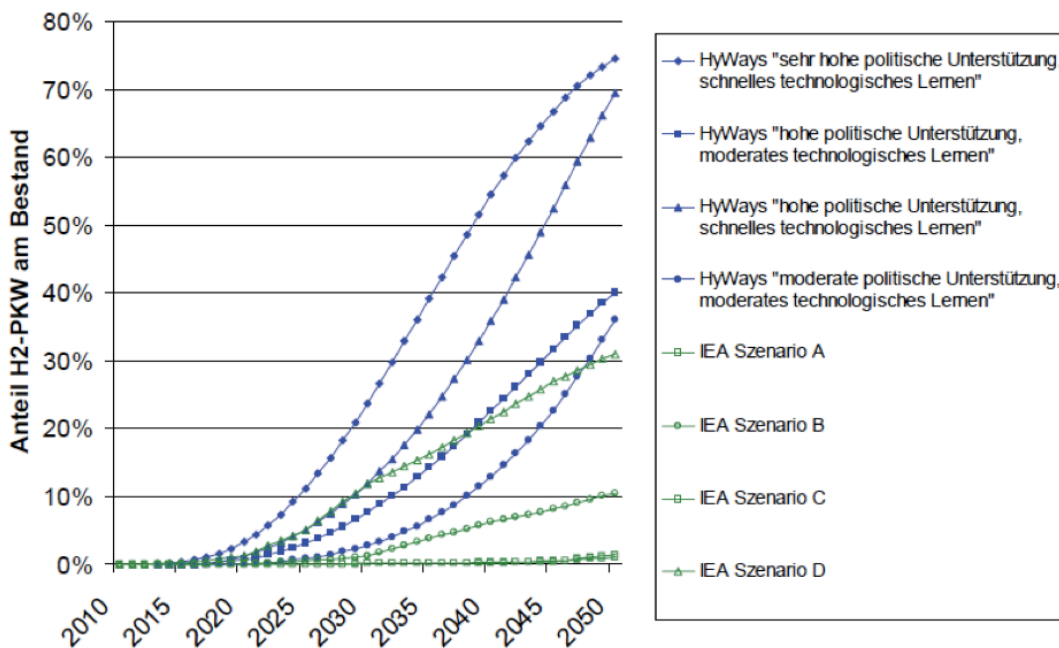
Der größte Vorteil der Technologie ist es, dass als Verbrennungsprodukt keine Abgase entstehen, sondern nur Wasserdampf. Der Wirkungsgrad der Wasserstoffverbrennungsmotoren liegt dabei mit 45% deutlich über dem Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren (25-33%). Zudem ist Wasserstoff in nahezu unerschöpflichen Mengen vorhanden und gilt bei richtiger Anwendung als sicherer als Benzin.^[74]

Kap. 5.3). Erfahrungen aus dem Alltagsbetrieb werden gesammelt und ausgetauscht, wobei es gegen Ende der Projektphase II zu ersten Wasserstoffkorridoren zwischen den beteiligten Regionen kommen soll.^[71]

Unstrittig in Forschung und Industrie ist derweil, dass die vorgegebenen Ziele nur unter der Voraussetzung erreicht werden können, dass es zu weiteren technologischen Durchbrüchen und Fortschritten im Bereich der Brennstoffzelle, Fahrzeugentwicklung sowie Tanks kommt. Spezifische Studien der Internationalen Energie Agentur (IEA) und der EU im Rahmen des HyWays-Projektes zur Erarbeitung einer Roadmap für die Marktreife der Technologie gehen davon aus, dass dies prinzipiell möglich ist. Die IEA stellte für die Entwicklung von Wasserstofffahrzeugen zwei Szenarien auf. In ihrem konservativen Szenario kommt sie zu dem Ergebnis, dass 2030 etwa 3% der Fahrzeuge mit Wasserstoff betrieben werden könnten und 2050 etwa 10%. Im optimistischeren Szenario werden 2030 12% und 2050 30% Marktdurchdringung erreicht. Die HyghWays-Szenarien der EU gehen von einer schnelleren Entwicklung aus. Für den Fall einer sehr geringen politischen Unterstützung rechnet die EU mit 2% Marktdurchdringung in 2030 und 36% bis 2050. Sollte die politische Unterstützung hingegen sehr stark ausfallen, könnten bereits 2030 über 25% und 2050 sogar über 70% erreicht werden (vgl. Abb. 6).^[77]

Damit variieren die offiziellen Prognosen je nach Szenario für 2030 zwischen 2% und 25% und für 2050 zwischen 10% und 70%. Festhalten lässt sich lediglich, dass zum Erreichen einer signifikanten Marktdurchdringung Forschungsdurchbrüche hinsichtlich Gewicht und Größe der Antriebseinheiten, Technologie- und Leistungsfähigkeit sowie Lebensdauer der Brennstoffzelle notwendig sind. Während einige Experten, wie Stefan Bartzel von der Hochschule für Wirtschaft in Bergisch Gladbach vor allem das „veritable Kostenproblem“ der Technologie betonen, gehen Politik und Industrie noch immer davon aus, dass Wasserstoff- und Brennstoffzellen langfristig eine wichtige Rolle im Verkehrssektor spielen können.^[78] Vom derzeitigen Forschungsstand ausgehend erscheint dies vor 2030 aber nicht realistisch. Wahrscheinlicher ist eine signifikante Marktdurchdringung für die Zeit nach 2040 oder sogar 2050.

Abb. 6: Anteil der Wasserstofffahrzeuge am Bestand in Europa für die Szenarien der IEA und des HyWays-Projektes von 2010 bis 2050^[77]



5.3 Herausforderungen und Tankstelleninfrastruktur

Im Fokus der derzeitigen F&E-Projekte im Bereich Wasserstoff- und Brennstoffzelle in Deutschland steht die Marktvorbereitung. So wird im Rahmen der CEP die Flotte bis 2013 auf über 100 Brennstoffzellen-PKW aufgestockt. Die Hamburger Hochbahn schafft zunächst bis 2012 sieben Brennstoffzellen-Hybridbusse an, denen weitere folgen sollen. In Berlin fahren derzeit vier Wasserstoffbusse mit Verbrennungsmotoren. Hier sollen fünf weitere dazu kommen. In Nordrhein-Westfalen sind zehn Brennstoffzellen-Hybridbusse für den Personennahverkehr geplant.^[79]

Eine zentrale Herausforderung bleiben die hohen Kosten für die Bereitstellung der Infrastruktur. Die Automobilhersteller haben sich zur Bereitstellung höherer Stückzahlen bereit erklärt, um mittel- bis langfristig zur Kostenreduzierung beizutragen. Derzeit gibt es in Deutschland sieben öffentlich zugängliche Wasserstofftankstellen. In den kommenden Jahren sollen weitere Wasserstoff-Tankstellen hinzu kommen, durch die bestehende Wasserstoff-Regionen in absehbarer Zeit verbunden werden sollen.^[79]

In Berlin-Spandau ist momentan eine Tankstelle in Betrieb. Eine weitere steht in Friedrichshain und wird täglich von durchschnittlich 35 Kunden frequentiert. Bis 2013 sollen mindestens zwei weitere Wasserstofftankstellen in Berlin hinzu kommen. In der Hamburger Hafen-City ist eine Tankstelle bereits im Bau, zwei weitere befinden sich in der Planungsphase. In den kommenden Jahren sollen die beiden Wasserstoff-Cluster Berlin und Hamburg verbunden werden. Das BMVBS und ein Industriekonsortium bestehend aus Daimler, EnBW, Line, OMV, Shell Total und Vattenfall, verständigten sich bereits 2009 darauf, bis 2014 20 weitere Wasserstofftankstellen aufzubauen und damit zur flächendeckenden Wasserstoffversorgung in Deutschland beizutragen. Dieses Vorhaben wurde im Memorandum of Understanding (MoU) „H2 Mobility“ festgehalten. Die NOW GmbH geht davon aus, dass für eine flächendeckende Versorgung ca. 1.000 Tankstellen notwendig sind. Die Kosten für eine Tankstelle belaufen sich auf etwa 1 Million Euro.^[79]

Während Strom über bestehende Netze verteilt wird, kann Wasserstoff über ebenfalls bereits existierende Gasleitungen transportiert werden. Dennoch ist es ersichtlich, dass die Schaffung einer Versorgungsinfrastruktur für Wasserstoff mit erheblichen Vorabinvestitionen verbunden sein wird, während für batteriebetriebene Elektroautos zunächst langsame Ladestationen, bspw. zu Hause, ausreichen dürften. Ab einem Marktvolumen von 1-10 Millionen Wasserstoffautos könnten die Kosten, laut Berechnungen der Ludwig-Böckler-Systemtechnik GmbH, aber durch wirtschaftliche Skalierungseffekte unter die Kosten für eine elektrische Ladeinfrastruktur fallen. In jedem Falle wird es beträchtliche Investitionen geben müssen, die angesichts der derzeitigen Ungewissheit hinsichtlich der Entwicklung der Technologie, von Seiten der Privatwirtschaft nicht erwartet werden können.^[67]

Strom für Batterien und Wasserstoff für Brennstoffzellen sind sich ergänzende Mobilitätskonzepte. So kann Wasserstoff bspw. relativ effizient zu und aus Strom gewandelt werden. Von der zentralen Produktion im großen Umfang mit damit verbundenen Unterspeichermöglichkeiten bis zur bedarfsorientierten Erzeugung im kleinen Umfang an Tankstellen sind unterschiedliche Konzepte möglich, was die Vernetzung der beiden Energieträger ermöglicht. Eine Koexistenz der beiden Energieträger ist für den Kunden daher grundsätzlich vorteilhaft. Um die Kundenakzeptanz zu gewährleisten muss die Nutzung der Infrastruktur allerdings kostengünstig, sicher und einfach zu erreichen sein.^[67]

Schließlich ist festzuhalten, dass Wasserstoff-, ebenso wie Elektroautos, nur dann einen signifikanten Beitrag zum Klimaschutz leisten können, wenn der zur Wasserstoffproduktion genutzte Strom aus erneuerbaren Quellen generiert wird. Derzeit stammt etwa die Hälfte des Wasserstoffs an den deutschen CEP-Tankstellen aus regenerativer Erzeugung.^[79]

5.4 Schlussfolgerungen und Agenda

Die Bundesregierung hat durch die Schaffung der NIP sowie der NOW erfolgreich Anreize für Kooperationen zwischen Forschung und Industrie gesetzt. Angesichts der für die Überschreitung der Marktschwelle noch immer notwendigen Forschungsdurchbrüche, müssen die Anstrengungen zur Förderung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie allerdings fortgesetzt werden. Ausgehend vom derzeitigen Sach- und Forschungsstand, lassen sich hierfür die folgenden Handlungsempfehlungen formulieren:

- Voraussetzung für eine signifikante Marktdurchdringung der Wasserstofftechnologie ist der Aufbau einer Versorgungsinfrastruktur. Das MoU H2 Mobility ist Beispiel für eine gelungene Kooperation zwischen Politik und Industrie. Angesichts der hohen Kosten für den Infrastrukturaufbau, sollte die Bundesregierung durch geeignete Rahmenbedingungen weitere Anreize in diesem Bereich setzen.
- Strom und Wasserstoff für den Einsatz in Fahrzeugen sollten darüber hinaus in der Markteinführungsphase nicht zusätzlich besteuert werden.
- Die Standardisierung und Normung der Ladeinfrastruktur sollte auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene vorangetrieben werden.
- Weiterhin ist eine gesamteuropäische Industrieinitiative, die Brennstoffzellen, Batterien und Hybridfahrzeuge im Rahmen einer Kooperation zwischen den Initiativen „Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking“ und „Green Car“ abdeckt, empfehlenswert.
- Schließlich ist eine breit angelegte Informationsstrategie hinsichtlich der Entwicklungen und Planungen für einen sauberen europäischen Verkehrssektor ratsam.

6. FAZIT: Mobilität der Zukunft und Perspektiven für mittelständische Tankstellen

Die Analyse der bestehenden politischen Rahmenbedingungen für alternative Antriebe, der Entwicklung und des technologischen Standes in den Bereichen Biokraftstoffe, Erdgas, Elektromobilität sowie Wasserstoff- und Brennstoffzelle führt zu der eindeutigen Erkenntnis, dass Verbrennungsmotoren bis 2020 und darüber hinaus das Rückgrat der Mobilität in Deutschland bilden werden.

Das Erreichen der gesetzlichen Zielvorgaben hinsichtlich der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Kraftstoffsektor bis 2020 wird daher im Wesentlichen durch Biokraftstoffe realisiert werden müssen. Dabei werden aus gegenwärtiger Sicht bis zum Jahr 2020 maßgeblich konventionelle Biokraftstoffe wie Biodiesel, Bioethanol der zweiten Generation sowie in geringem Umfang Biomethan eine Rolle spielen; zukünftige Biokraftstoffe und synthetische Biokraftstoffe sind vor 2020 nicht in marktrelevanten Mengen zu erwarten. Die Zielvorgabe einer Minderung von produktionsbedingten Treibhausgasemissionen um 60% bei Biokraftstoffen gegenüber fossilen Kraftstoffen kann durch Zertifizierungsmechanismen sichergestellt werden.

Das Potenzial für eine weitere positive Entwicklung der Biokraftstoffe ist grundsätzlich gegeben. Ein wichtiger Faktor hierfür sind die mittelständischen Tankstellenbetreiber, welche die notwendige Vertriebsinfrastruktur für Biokraftstoffe durch Investitionen in Tanklager und Zapfsäulen bereits geschaffen haben. Etwa 1.900 mittelständische Tankstellen haben zur flächendeckenden Markteinführung von Biodiesel entscheidend beigetragen und auch im Bioethanolbereich sind die bestehenden Tankstellen größtenteils mittelständisch organisiert. Diese Infrastruktur kann auch weiterhin für die Einführung neuer, bspw. synthetischer, Kraftstoffe genutzt werden. Entscheidend für die weitere Entwicklung im Biokraftstoffsektor wird es sein, ob ausreichend Investitions- und Planungssicherheit, Freihandel und Wettbewerb am Markt gewährleistet sein werden. Die Kosten für synthetische Kraftstoffe von mehreren hundert Millionen Euro pro Produktionsanlage könnten dazu führen, dass einige wenige kapitalstarke Konzerne den Markt dominieren und gleichzeitig von der staatlichen Subventionierung von Biokraftstoffen profitieren. Dies würde nicht zuletzt der Forderung des Bundeskartellamts nach mehr Wettbewerb im deutschen Kraftstoffsektor widersprechen. Angesichts dieser Sachlage sollte durch die Förderung reiner Biokraftstoffe über 2015 hinaus zur Diversifizierung des Gesamtbiokraftstoffangebots beigetragen werden. Dies würde einerseits den Mittelstand stärken, andererseits würde so die Flexibilität bei der Erfüllung der Biokraftstoffquoten erhöht.

Die Potenziale von Erdgas und Biomethan als Kraftstoff werden trotz ausgereifter Technik bislang nicht ausgeschöpft. Die Zielsetzungen der Bundesregierung für 2020 können in diesem Bereich nur erreicht werden, wenn es gelingt, den Bestand an Erdgasfahrzeugen jährlich um 29% im Vergleich zum Vorjahr zu erhöhen. Hierzu ist insbesondere ein wachsender Anteil von erdgasbetriebenen Nutzfahrzeugen erforderlich. In der EU zeigen Länder wie Schweden oder Italien, dass eine solch schnelle Marktentwicklung möglich ist. Durch die Einspeisung von in Deutschland erzeugtem Biomethan in das bestehende Erdgasnetz und die Nutzung im Verkehr lassen sich THG-Emissionen vergleichsweise kostengünstig einsparen. Dabei sind die zur Erzeugung von Biomethan benötigten Ressourcen noch lange nicht ausgeschöpft. Selbst bei Erreichen des 4-Prozent-Marktanteilszieles könnten sämtliche Erdgasfahrzeuge im Jahr 2020 theoretisch mit reinem Biomethan betrieben werden. Sowohl für die Anrechnung von Biomethan auf die Biokraftstoffquote als auch für die steuerliche Besserstellung ist eine Zertifizierung der eingesetzten Mengen gemäß der Biokraftstoffnachhaltigkeitsverordnung erforderlich.

Der flächendeckende Aufbau der Versorgungsinfrastruktur für Erdgas als Kraftstoff kann prinzipiell durch den Mittelstand erfolgen. Ein Vorteil hierbei sind die bereits bestehenden bundesweiten Erdgasleitungen. Aus Wettbewerbsicht ist aber auch in diesem Sektor zu kritisieren, dass sich die Betreiber von Erdgastankstellen, in die Abhängigkeit von einigen wenigen Unternehmen der Gaswirtschaft begeben, die i.d.R. die für einen Mittelständler kaum zu deckenden Kosten für den Tankstellenaufbau tragen. Insgesamt sprechen die Eigenschaften und Potenziale von Erdgas dennoch für eine beschleunigte Etablierung im Verkehrssektor. An die Verbraucher gerichtete Sensibilisierungsmaßnahmen, finanzielle Anreize beim Infrastrukturaufbau, steuerliche Begünstigungen und weitere Förderinitiativen für Erdgas als Kraftstoff sind daher empfehlenswert. Eine teilweise geforderte steuerliche Besserstellung von Erdgas gegenüber Autogas ist es allerdings nicht. Der schnell wachsende Flüssiggas-Markt trägt schon heute in signifikantem Maße zur Minderung von THG-Emissionen bei, die Technologie ist - im Gegensatz zu den Erdgasfahrzeugen - europaweit etabliert und es existiert mit 27.000 Tankstellen bereits eine breite Versorgungsinfrastruktur. Allein in Deutschland wird Flüssiggas an 6.000 Tankstellen angeboten und spielt damit eine ökonomisch wichtige Rolle für mittelständische Tankstellen. Die Markteinbrüche infolge des Wegfalls der Begünstigung von Biodiesel können als mahnendes Beispiel herangezogen werden. Die Förderung von Erdgas *und* Autogas ist ökonomisch und ökologisch zum Erreichen THG-Minderungsziele beizubehalten und entspricht den Empfehlungen der Expertengruppe für alternative Kraftstoffe der EU-Kommission. Insgesamt zeigen Erfahrungen aus anderen Ländern, dass Erdgas mit einer entsprechenden Optimierung der Rahmenbedingungen großes Potenzial im Transportsektor hat, wobei der schnelle Aufbau einer Versorgungsinfrastruktur in erster Linie durch den Mittelstand erreicht werden kann. Angesichts der aus Mittelstandssicht sehr hohen Kosten von Erdgastankstellen sind substantielle Investitionen in den Infrastrukturaufbau ohne staatliche Anreize (bspw. steuerliche Abschreibungsmöglichkeiten) allerdings nicht zu erwarten.

Elektrofahrzeuge dagegen sind zum Erreichen der EU-Vorgaben für 2020 nicht von Bedeutung. Eine Million Elektrofahrzeuge, angetrieben mit 35% regenerativem Strom, erreichen 2020 einen Anteil von nur 0,1% erneuerba-

rer Energie im Verkehrssektor. Ein verstärkter Ausbau der Elektromobilität sollte ausschließlich in Verbindung mit einer beschleunigten Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien im Stromsektor erfolgen. Zudem ist zu identifizieren, welchen Einfluss unter anderem die Vorkette der Elektrofahrzeuge auf die Gesamtbilanz der gefahrenen Kilometer hat, vor allem im Hinblick auf die Batterien. Eine Etablierung der Batterietechnik als Massenmarkt ist frühestens für 2020-2025 zu erwarten. Wichtige Voraussetzung hierfür ist eine öffentliche Ladeinfrastruktur. Ein entsprechender Aufbau ist aber kostenaufwendig und es fehlt aufgrund der ungewissen Marktentwicklung an Investitionssicherheit. Zudem dürften in der frühen Phase der Markteinführung private Ladestationen ausreichen. Da langfristig aber eine komplett neue Infrastruktur zu schaffen ist, ist seitens der Politik die Schaffung von attraktiven Rahmenbedingungen für Investitionen dringend erforderlich. Hierbei muss der Wettbewerb zwischen großen Energieunternehmen und unabhängigen kleineren Stromlieferanten gewährleistet werden, so dass es zu Preisvorteilen auf der Verbraucherseite kommen kann. Für mittelständische Tankstellen dürften die bis 2020 mäßig ansteigenden Marktanteile bei der Elektromobilität zu geringfügigen Einbußen führen. Chancen ergeben sich aber im Reparatur- und Wartungsgeschäft. Der geringere Wartungsaufwand von Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Antriebssystemen könnte dazu führen, dass Servicearbeiten vermehrt von Tankstellen übernommen werden. Gleichzeitig beobachtet die Mineralölwirtschaft den Markt für Elektroautos und wird den Tankstellenbetreibern bzw. dem Autofahrer je nach Entwicklung auch weiterhin die notwendige Versorgungsinfrastruktur zur Verfügung stellen.

Im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie ist eine signifikante Marktdurchdringung nicht vor 2030 zu erwarten. Die Serienanfertigung von Brennstoffzellenfahrzeugen ist beim derzeitigen Technologiestand frühestens ab 2020 realistisch. Vor allem durch Flottenfahrzeuge im öffentlichen Nahverkehr verspricht die Technologie aber bereits ab 2013 ein attraktives Marktvolumen in der automobilen Anwendung. Es ist im Interesse der deutschen Industrie F&E-Aktivitäten in diesem Sektor weiterzuführen. Angesichts der notwendigen Forschungsdurchbrüche und der hohen Kosten für den Infrastrukturaufbau, sollte die Bundesregierung durch geeignete Rahmenbedingungen weitere finanzielle und Kooperationsanreize in diesem Bereich setzen. Die Möglichkeiten für mittelständische Tankstellen sind angesichts dieser Sachlage und der hohen Kosten von etwa 1 Mio. Euro pro Tankstelle eingeschränkt. Es ist zum jetzigen Zeitpunkt unklar, ob sich die Technologie mittelfristig im Privatfahrzeugbereich durchsetzen wird. Sollten die notwendigen Forschungsdurchbrüche gelingen, wird über den Aufbau eines Tankstellennetzes zu entscheiden sein. Für diesen Fall wäre eine gemeinsame Machbarkeitsstudie von Politik und der mittelständischen Energiewirtschaft empfehlenswert, welche die konkreten Möglichkeiten des Mittelstandes im Wasserstoffsektor in technologischer und wirtschaftlicher Sicht analysiert.

Literaturverzeichnis:

- [1] Europäischer Rat: RICHTLINIE 2003/30/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor, in: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:123:0042:0042:DE:PDF> (15.08.2011).
- [2] Europäischer Rat: RICHTLINIE 2003/96/EG DES RATES vom 27. Oktober 2003 zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom, in: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:283:0051:0070:DE:PDF> (15.08.2011).
- [3] Europäisches Parlament/Europäischer Rat: RICHTLINIE 2009/28/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, in: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:de:PDF> (15.08.2011).
- [4] Europäisches Parlament/Europäischer Rat: Verordnung (EG) Nr. 433/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen, in: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0655:FIN:DE:PDF> (15.08.2011).
- [5] Europäisches Parlament/Europäischer Rat: Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge, in: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:171:0001:0016:DE:PDF> (15.08.2011).
- [6] Bundesministerium der Justiz: Bundes-Immissionsschutzgesetz. §37a Mindestanteil von Biokraftstoffen an der Gesamtmenge des in Verkehr gebrachten Kraftstoffs; Treibhausgasminderung, in: http://www.gesetze-im-internet.de/bimSchg/___37a.html (01.11.2011)
- Deutscher Bundestag: Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften, in: http://www.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL&start=//%5B@attr_id=%27bgbl106s3180.pdf%27%5D (15.08.2011).
- [7] BMU: Sechsendreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Durchführung der Regelungen der Biokraftstoffquote) (36. BImSchV), in: http://www.gesetze-im-internet.de/bimSchv_36/BJNR006010007.html (01.09.2011).
- [8] Deutscher Bundestag: Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffe, in http://www.enev-online.de/eewaermeg/2009/090715_bundesgesetzblatt_aenderung_eewaermeg_leseversion.xav (15.08.2011).
- [9] Deutscher Bundestag: Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen (Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung - Biokraft-NachV), in: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/biokraft-nachv/gesamt.pdf> (15.08.2011).
- [10] BMVBS: BMVBS erarbeitet Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie, in: http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2011/126-bomba-mobilitaets-und-kraftstoffstrategie.html?linkToOverview=SiteGlobals%2FForms%2FSuche%2FServicesuche_Formular.html%3Fnn%3D45664%26amp%3Bgtp%3D45660_list%25253D2%26amp%3BsearchIssued%3D0%26amp%3BsearchIssued%3D0%26amp%3Bsubmit%3Dfinde (01.09.2011).
- [11] BMU-K III 1: Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien (AGEE-Stat): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland 2010, Grafiken und Tabellen, März 2011.
- [12] Agentur für Erneuerbare Energien: Biokraftstoffe im Vergleich: Produktion, Potenzial, Beitrag zum Klimaschutz, in: <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie/detailansicht/article/155/biokraftstoffe-im-vergleich-produktion-potenzial-beitrag-zum-klimaschutz.html> (15.08.2011).
- [13] BMU/BMELV, VDA, MWV, IG, VDB und DBV: Roadmap Biokraftstoffe (Stand 14.11.2007), in: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/roadmap_biokraftstoffe.pdf (15.08.2011).
- [14] DBFZ: Kurzstudie Analyse zur Erreichung des Mindestziels von 10% erneuerbare Energien im Verkehrssektor, Auftraggeber WWF Deutschland in Kooperation mit Forum Umwelt und Entwicklung, April 2010.
- [15] Nachwachsende Rohstoffe. e.V.: Biokraftstoffe. Eine vergleichende Analyse, in: http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_236-biokraftstoffvergleich_2009.pdf (01.09.2011).
- [16] Agrarplus: Biokraftstoffe. Vision oder Gegenwart, in: http://www.agrarplus.at/pdf/broschuere_biotreibstoffe_vision_gegenwart.pdf (01.09.2011).
- [17] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: Biokraftstoffe, Kraftstoffverbrauch in Deutschland, in: <http://www.biokraftstoffe.info/kraftstoffe/> (15.08.2011).

- [18] BMU: Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, in:
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nationaler_aktionsplan_ee.pdf (15.08.2011).
- [19] Öko-Institut e.V., Prognos AG: Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken, Auftraggeber WWF Deutschland, 2009.
- [20] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix - Handlungsbedarf und Lösungsansätze für eine beschleunigte Etablierung im Verkehr, 2010.
- [21] Hinrichs-Rahlwes, Rainer, Pieprzyk, Björn: Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche für Deutschland, Bundesverband Erneuerbare Energie e.V., 2009.
- [22] Bockey, Dieter: Rohstoffpotenziale für die Produktion von Biodiesel - eine Bestandaufnahme, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP), 2006.
- [23] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: Biokraftstoffe - Eine vergleichende Analyse, 2009.
- [24] Umweltbundesamt: CO₂-Emissionen nach Quellkategorie, in: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodent=2842> (15.08.2011).
- [25] Hamburger WeltWirtschaftsinstitut (HWWI): Policy Report: Biokraftstoffe - Option für die Zukunft? Ziele, Konzepte, Erfahrungen, Hamburg, 2006.
- [26] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: Entwicklung Biodiesel in Deutschland, in:
<http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/daten-und-fakten/bioenergie/biokraftstoffe/#c3328> (15.08.2011).
- [27] Financial.de (11.01.2008): Hunderte kleiner Biodiesel-Hersteller von Insolvenz bedroht, in:
<http://www.financial.de/news/wirtschaftsnachrichten/hunderte-kleiner-biodiesel-hersteller-von-insolvenz-bedroht/>, (15.08.2011).
- [28] Bundeskartellamt: Sektoruntersuchung Kraftstoffe, Abschlussbericht, Mai 2011, in:
http://www.bundeskartellamt.de/wDeutsch/download/pdf/Stellungnahmen/2011-05-26_Abschlussbericht_final2.pdf (15.05.2011).
- [29] Euractiv.com: Synfuels: the next miracle cure for sustainable mobility?, in:
<http://www.euractiv.com/en/energy/synfuels-miracle-cure-sustainable-mobility/article-153183>, (15.08.2011). BMU/BMELV, VDA, MWV, IG, VDB und DBV: Roadmap Biokraftstoffe (Stand 14.11.2007), in:
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/roadmap_biokraftstoffe.pdf (15.08.2011).
- [30] IEA: Energy Technology Essentials, in: <http://www.iea.org/techno/essentials2.pdf> (15.08.2011).
- [31] BMU/Umweltbundesamt (2009): Zukunftsmarkt Biokraftstoffe, in: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3452.pdf>, (15.08.2011).
- [32] Bundesregierung: Perspektiven für Deutschland - Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung, Fortschrittsbericht 2004.
- [33] Deutscher Bundestag: Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften, in:
http://www.bgbl.de/Xaver/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL&start=//%5B@attr_id=%27bgbl106s3180.pdf%27%5D (15.08.2011).
- [34] BMU (2007): Das Integrierte Energie und Klimaprogramm der Bundesregierung, in:
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_meseberg.pdf (15.08.2011).
- [35] Erdgas Mobil (2010): Vortrag von Dr. Timm Kehler: Erdgas als Kraftstoff, in:
http://www.vewsaar.de/fileadmin/dokumente/Aktuell/veranstaltungen/pdf/Vortrag_Dr_Timm_Kehler_23022010.pdf (15.08.2011).
- [36] Car Center Automotive Research: Dudenhöffer/Pietron: CNG as automotive fuel for Europe/CEE Is it possible to achieve 5 % + x market share for CNG? Necessary steps and actions to achieve?, Duisburg, September 2010.
- [37] CONCAWE et al.: Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, 2007.
- [38] McKinsey & Company: Zukünftiges Potenzial von Erdgas als Kraftstoff für Automobile [Studie], 2008.
- [39] Daniel Yergin: Stepping on the Gas, in: The Wall Street Journal, 02. April 2011.
- [40] BP Statistical Review of World Energy, June 2010.
- [41] Deutsche Energie-Agentur: Repräsentative Bevölkerungsumfrage: Energieeffizienz beim Autokauf, 2010.

- [42] Deutscher Verband für Flüssiggas e. V. (DVG), in: <http://www.dvfg.de/de/index.html> (15.08.2011).
- [43] Ulrich Wagner (TU München): Evaluierung alternativer PKW-Antriebssysteme. CNG-, LPG- und Benzin betriebene PKW im Vergleich, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE) , 2004.
- [44] Ruud Verbeek, Bettina Kampman: Vehicle Fuels and the Environment: The Facts, Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), Helmond, 2011.
- [45] Bundesverband freier Tanksteller und deutscher Mineralölhändler (bft): Stellungnahme des Hauptgeschäftsführers, Axel Graf Bülow auf Anfrage des FFU, August 2011.
- [46] EU Commission: Memo/11/41 (Jan. 2011): Alternative fuels for transport, in: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/11/41&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=fr> (25/08.2011).
- [47] ExxonMobil: Energieprognose 2011-2030. Deutschland, in: http://www.exxonmobil.com/Germany-German/PA/Files/Energieprognose_2011.pdf (28.08.2011).
- [48] BMWi: Energieforschung der Bundesregierung, in: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energieforschung.html> (15.07.2011).
- [49] Die Bundesregierung: Hightech-Strategie 2020 für Deutschland, in: <http://www.hightech-strategie.de/de/350.php> (15.07.2011).
- [50] BMU (03.05.2010): Etablierung der Nationalen Plattform Elektromobilität - Gemeinsame Erklärung von Bundesregierung und deutscher Industrie, in: <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2010/05/2010-05-03-elektromobilitaet-erklaerung.html> (15.08.2011).
- [51] BMBF (03.05.2011): Innovationsallianz "Lithium Ionen Batterie LIB 2015", in: <http://www.bmbf.de/de/11828.php> (15.07.2011).
- [52] BMBF (August 2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität, in: http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf (15.07.2011).
- [53] Die Bundesregierung: Regierungsprogramm Elektromobilität, in: http://www.bmbf.de/pubRD/programm_elektromobilitaet.pdf (15.07.2011).
- [54] KLiB (17.05.2011): Pilotanlage soll Herstellung deutscher Lithium-Ionen-Zellen vorantreiben, in: <http://www.klib-org.de/index.php?id=19> (15.07.2011).
- [55] BMBF (13.05.2011): Batterie-Produktion führt Deutschland in die Elektromobilität, in: <http://www.bmbf.de/press/3092.php> (15.07.2011).
- [56] Stuttgarter Zeitung (08.11.2010): Elektromobilität Deutschland soll Leitmarkt werden, in: http://www.uni-due.de/%7Ehk0378/publikationen/2010/20101108_Stuttgarter%20Zeitung.pdf (15.08.2011).
- [57] Verkehrsclub Deutschland: Zusätzlicher Strom für Elektroautos?, in: <http://www.klima-suchtschutz.de/mitmachen/beitrag/article/woher-kommt-der-strom-fuer-elektroautos.html> (15.08.2011).
- [58] DWV: Energie-Infrastruktur 21 - Rolle des Wasserstoffs angesichts der Herausforderungen im neuen globalen Energiesystem, in: http://www.dwv-info.de/publikationen/2010/E21_de.pdf (15.08.2011).
- [59] Pehnt, Martin, Höpfner, Ulrich: Wasserstoff- und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien: Analyse der kurz- und mittelfristigen Perspektive, Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu), Kurzgutachten i. A. des BMU, 2009.
- [60] BDI: Innovative Antriebstechnologien, Elektromobilität und alternative Kraftstoffe für unsere Mobilität von morgen, Potenziale, Herausforderungen, Perspektiven, Berlin, Februar 2011.
- [61] Strom Magazin (16.07.2011): Elektroautos in Deutschland: Der Stand der Dinge, in: http://www.strommagazin.de/strommarkt/elektroautos-in-deutschland-der-stand-der-dinge_30783.html (15.08.2011).
- [62] VCI (01.07.2011): Elektromobilität: Hintergrundinformationen, in: https://www.vci.de/Downloads/Top-Thema/PP_Elektromobilität-Hintergrund.pdf (15.08.2011).
- [63] Schlenkhoff, Andreas, Heinz, Georg (Universität Wuppertal): Ein Blick auf die öffentliche Debatte über Energiespeicher und das Potenzial von Pumpspeicher in Deutschland, Beitrag zum 34. Dresdner Wasserbaukolloquium 2011: Wasserkraft - mehr Wirkungsgrad + mehr Ökologie = mehr Zukunft, Dresden, 2011.
- [64] Ferdinand Duddenhöffer (CAR-Institut Universität Duisburg): Die Bedeutung der Elektromobilität für den Standort Deutschland und Defizite in der Förderung, in: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, September 2010.

- [65] NPE: Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, in:
http://www.elektromobilitaet.din.de/sixcms_upload/media/3310/RZ_0905_NPE_Zweiter%20Bericht_Final_Print.pdf
 (15.08.2011).
- [66] Handelsblatt (02.08.2010): Seltene Erden: China schockt den Westen, in:
<http://www.handelsblatt.com/finanzen/rohstoffe-devisen/rohstoffe/china-schockt-den-westen/3505202.html> (15.08.2011).
- [67] DWV: Energie-Infrastruktur 21, Rolle des Wasserstoffs angesichts der Herausforderungen im neuen globalen Energiesystem, Berlin 2010.
- [68] Craig Duff (Herald Sun, 13.01.2011): Battery swap model 'won't work', in: http://www.carsguide.com.au/site/news-and-reviews/car-news/battery_swap_model_wont_work (30.08.2011).
- [69] Spath, Dieter: Wie Deutschland zum Leitanbieter für marktfähige Elektromobilität werden kann, Vortrag beim Forum Nachhaltige Konzepte für die elektromobile Stadt der Zukunft am 21. Januar 2010.
- [70] BMVBS: Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP), in:
<http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/nationales-innovationsprogramm-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie-nip.html> (15.08.2011).
- [71] NOW GmbH: Wasserstoff Brennstoffzelle: Entwicklungsplan, in: <http://www.now-gmbh.de/de/wasserstoff-brennstoffzelle/mobile-anwendungen/entwicklungsplan.html> (15.08.2011).
- [72] CEP: Mit Wasserstoff in die Zukunft fahren, in: <http://www.cleanenergypartnership.de/> (15.08.2011).
- [73] Fumatech: Brennstoffzellen: Mobile Anwendungen, in:
<http://www.fumatech.com/Startseite/Brennstoffzelle/Anwendungen/> (15.08.2011).
- [74] Alternative-Kraftstoffe.com: Wasserstoff Auto, in: <http://alternative-kraftstoffe.com/alternative-kraftstoffe/wasserstoff-auto/> (15.08.2011).
- [75] CEP: Wasserstofftechnologie, in: <http://www.cleanenergypartnership.de/tech/site.php> (15.08.2011).
- [76] Deutsche Energieagentur: GermanyHy: Studienzur Frage: Woher kommt der Wasserstoff in Deutschland bis 2050?, Studie im Auftrag des BMBF, Berlin 2009.
- [77] HyWays (2007): HyWays - The European Hydrogen Energy Roadmap; in: www.hyways.de (15.08.2011).
- [78] Automobil Produktion (16.06.2011): Das Wasserstoffauto - mit Volldampf in die Sackgasse, in <http://www.automobilproduktion.de/2011/06/das-wasserstoffauto-mit-volldampf-in-die-sackgasse/> (15.08.2011).
- [79] CEP: Phase II Marktvorbereitung, in: <http://www.cleanenergypartnership.de/index.php?id=17> (15.08.2011)