



Hamburgisches
WeltWirtschafts
Institut

MOBILITÄT

Strategie 2030

VERMÖGEN UND LEBEN IN
DER NÄCHSTEN GENERATION.

— EINE INITIATIVE —

— DES HAMBURGISCHEN —

WELTWIRTSCHAFTSINSTITUTS

UND DER BERENBERG BANK

Privatbankiers  *gegründet 1590*

BERENBERG BANK

Joh. Berenberg, Gossler & Co. AG



Hamburgisches
WeltWirtschafts
Institut

Mobilität

Strategie 2030

VERMÖGEN UND LEBEN IN
DER NÄCHSTEN GENERATION.
— EINE INITIATIVE —
— DES HAMBURGISCHEN —
WELTWIRTSCHAFTSINSTITUTS
UND DER BERENBERG BANK

Privatbankiers  gegründet 1590

BERENBERG BANK

Joh. Berenberg, Gossler & Co. K.G.

»Berenberg Bank · HWWI: Strategie 2030 – Mobilität«
ist eine gemeinsame Studie der
Berenberg Bank · Neuer Jungfernstieg 20 · 20354 Hamburg und des
HWWI Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut · Heimhuder Straße 71 · 20148 Hamburg

Autoren:

Leon Leschus, Dr. Silvia Stiller und Dr. Henning Vöpel
unter Mitarbeit von Amelie Boje, Ulrich Clemens und Viktor Keller (HWWI)
Frank v. Collani, Robert Freiherr v. Kap-herr, Michael Langer, Daniel Markus Schwarz (Berenberg Bank)
Editor: Alexa Reinck (Berenberg Bank)
Stand: November 2009

Wir haben uns bemüht, alle in dieser Studie enthaltenen Angaben sorgfältig zu recherchieren und zu verarbeiten. Dabei wurde zum Teil auf Informationen Dritter zurückgegriffen. Einzelne Angaben können sich insbesondere durch Zeitablauf oder infolge von gesetzlichen Änderungen als nicht mehr zutreffend erweisen. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität sämtlicher Angaben kann daher keine Gewähr übernommen werden.

Bezug über:

Berenberg Bank · Unternehmenskommunikation
Neuer Jungfernstieg 20 · 20354 Hamburg
Telefon (040) 350 60-710 · Telefax (040) 350 60-907 · E-Mail: presse@berenberg.de

Strategie 2030 – Vermögen und Leben in der nächsten Generation

»Ich glaube an das Pferd. Das Automobil ist eine vorübergehende Erscheinung«

(WILHELM II., LETZTER DEUTSCHER KAISER, 1859–1941)

Die Welt steht vor einer Zeitenwende. Große makroökonomische und geopolitische Trends werden das Leben und Wirtschaften der Menschheit in der nächsten Generation verändern!

Dazu zählen die neue Dimension religiös motivierter terroristischer Bedrohung westlicher Demokratien, die mit der Erweiterung der Europäischen Union verbundene Einführung des Euro als nationalstaatlich übergreifende Gemeinschaftswährung, die Entstehung neuer wirtschaftlicher Schwergewichte in Asien (Volksrepublik China, Indien) mit unausweichlichen Folgen für Rohstoff- und Kapitalmärkte, die Herausforderungen einer rapide alternden Bevölkerung in vielen Industrienationen mit all ihren Konsequenzen für Staatsfinanzen, Sozialsysteme, Arbeitsorganisation, Standortentscheidungen etc. oder der Klimawandel.

Dies alles vollzieht sich vor dem Hintergrund fortgesetzter Technologiesprünge in einer sich globalisierenden Wirtschaft. In der Folge finden politische, gesellschaftliche, technologische und wirtschaftliche Veränderungen immer rascher statt. Mehr noch: Sie beeinflussen sich wechselseitig – mal verstärkend, mal aber auch bremsend – und werden so in der Wahrnehmung der Menschen immer komplexer, auch im Sinne von weniger greifbar. Dies gilt umso mehr, als sie weit in die Zukunft reichen, im Fall des demografischen Wandels sogar generationenübergreifend wirken.

Trotz aller Unsicherheit – eines ist klar: Politiker, unternehmerisch Handelnde und Privatpersonen müssen sich diesem tief greifenden Wandel planerisch und gestalterisch stellen.

So dürfte es ein lohnendes Unterfangen sein, nach Orientierung gebenden Wegweisern zu suchen, sie als solche zu identifizieren und mögliche Wegstrecken sowie Zielorte zu beschreiben. Diesem Versuch dient die gemeinsam vom Hamburgischen WeltWirtschaftsInstitut (HWWI) und der Berenberg Bank getragene Schriftenreihe »Strategie 2030 – Vermögen und Leben in der nächsten Generation«. Sie vereint die Expertise von über unsere Landesgrenzen hinaus anerkannten Konjunkturforschern mit den umfassenden Erfahrungen eines führenden in der Vermögensverwaltung tätigen Privatbankhauses.

Wir wünschen den Lesern eine anregende und nützliche Lektüre!

Inhaltsverzeichnis

Teil A: Personenmobilität im 21. Jahrhundert: Trends, Herausforderungen und neue Technologien	6
Zusammenfassung	7
1 Einleitung	8
2 Städte der Zukunft: Zwischen Verkehrschaos und Green Cities	9
2.1 Zunehmender Individualverkehr	9
2.2 Urbanisierung und umweltschonende Stadtentwicklung	16
3 Zukunft der Mobilität – Mobilität der Zukunft	25
3.1 Nachhaltige Mobilität	25
3.2 Alternative Antriebstechnologien und Kraftstoffe	28
3.2.1 Entwicklungen bei konventionellen Antrieben und Kraftstoffen	28
3.2.2 Biokraftstoffe	29
3.2.3 Elektroautos und Batterie	32
3.2.4 Hybridelektrofahrzeuge	34
3.2.5 Wasserstoff- und Brennstoffzelle	35
3.2.6 Ausblick	39
3.3 Wirtschaftspolitische Instrumente zur Förderung nachhaltiger Mobilität	42
Literatur- und Quellenverzeichnis Teil A	92

Teil B: Konsequenzen für Unternehmen und Investoren	47
1 Investitions- und Forschungsausrichtungen führender Automobilanbieter	48
1.1 Maßnahmen zur CO ₂ -Reduzierung bei Personenkraftwagen	48
1.1.1 Verbrauchssenkende Strategien herkömmlicher Antriebsarten (Otto/Diesel)	48
1.1.2 Hybridantrieb	49
1.1.3 Erdgas- und Bioethanolantrieb	50
1.1.4 Wasser- und Brennstoffzellenantrieb	51
1.1.5 Elektroantrieb	51
1.2 Der Weg ins Jahr 2030	52
1.3 Trends in der Luftfahrt und im Schienenverkehr	54
2 Herausforderungen und bisherige Markteinführungen führender Automobilanbieter	58
2.1 Elektromobilität – Herausforderungen für Traditionshersteller	58
2.2 Bisherige Markteinführungen der Automobilhersteller	59
3 Zulieferindustrie	63
3.1 Zulieferindustrie vor großem Strukturwandel	63
3.2 Batterietechnologie	63
3.3 Batteriehersteller	65
3.3.1 Johnson Controls-Saft	65
3.3.2 NEC	66
3.3.3 Evonik	67
3.3.4 Bosch-Samsung	68
3.3.5 Panasonic – Sanyo – Toshiba	69
3.3.6 GS Yuasa	69
3.3.7 LG Chem – SK Energy	70
3.3.8 Al23Systems	70
4 Elektromobilität – ein vielversprechendes Konzept	72
4.1 Standortbestimmung	72
4.2 Infrastrukturbedarf	76
4.3 Kooperationen	81
4.4 Staatliche Fördermaßnahmen	85
4.5 Neue Geschäftsmodelle	88
Literatur- und Quellenverzeichnis Teil B	94

Teil A

Personenmobilität im 21. Jahrhundert: Trends, Herausforderungen und neue Technologien

HWWI

Zusammenfassung

Die Motorisierung der Weltbevölkerung und das Verkehrsaufkommen werden zukünftig weiter zunehmen. Die zentralen Triebkräfte hinter diesen Entwicklungen werden das immense Bevölkerungswachstum und die rasant steigenden Einkommen in zahlreichen Regionen der Welt sein. Eine sehr dynamische Entwicklung des Automobilbestandes erwartet die OECD für China, Indien, Russland, Brasilien und Indonesien. Für diese Länder wird ein Anstieg der Pkw-Anzahl um 438 Mio. bis zum Jahr 2030 prognostiziert. Die Pkw-Dichte würde sich entsprechend bis zum Jahr 2030 in Indien verdreifachen, in Indonesien vervierfachen und in China verzehnfachen.

Gleichzeitig wird die Urbanisierung voranschreiten, und im Jahr 2050 werden rund zwei Drittel der Weltbevölkerung in Städten leben. Deshalb stellt die zunehmende Motorisierung der Weltbevölkerung insbesondere Ballungsräume vor neue Herausforderungen. Dort werden sich die mit dem steigenden Verkehrsaufkommen verbundenen Probleme verschärfen: Lärm, Luftverschmutzung und Staus werden zunehmend das Bild wachsender Metropolen prägen. Darüber hinaus trägt die dynamische Entwicklung des Personenverkehrs dazu bei, dass sich der globale Energiebedarf bis zum Jahr 2050 verdoppeln wird. Gleichzeitig müssen die CO₂-Emissionen gegenüber dem Stand von 1990 halbiert werden, um das Klimaziel von maximal zwei Grad Celsius Erderwärmung zu erreichen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass staatliche Maßnahmen und internationale Klimaabkommen Anreize für eine Intensivierung der Forschung und Entwicklung von Grüner Technologie sowie die Umsetzung innovativer Mobilitätskonzepte setzen.

Die vorliegende Studie analysiert, welchen Beitrag Innovationen in der Automobilindustrie für eine umweltschonendere Mobilität leisten können. Im Fokus dieser Betrachtung stehen alternative Kraftstoffe, neue Antriebstechnologien und die Potenziale für ihre praktische Umsetzbarkeit. Aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften können insbesondere Biokraftstoffe der zweiten Generation, die aus Pflanzenresten, schnell wachsenden Hölzern und Gräsern hergestellt werden, einen Beitrag zur Reduktion der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen leisten. Die grundlegende Voraussetzung hierfür ist, dass Biokraftstoffe im Zuge technologischen Fortschritts wettbewerbsfähiger werden. Generell eröffnen neue Antriebstechnologien erhebliche Potenziale zur Senkung der Umweltbelastungen durch CO₂-Emissionen. Jedoch gilt es, mit Blick auf die Zukunft noch zahlreiche Hürden für die praktische Nutzbarkeit von reinen Elektrofahrzeugen, der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik und den Hybridfahrzeugen zu überwinden wie beispielsweise hohe Infrastrukturinvestitionen oder auch die begrenzte Speicherkapazität von Batterien.

1. Einleitung

Technologischer Fortschritt, die Serienfertigung von Automobilen, der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur und steigender Wohlstand haben die Fahrt mit dem eigenen Pkw in der industrialisierten Welt zur Normalität werden lassen. Dabei geht die gesellschaftliche Bedeutung des motorisierten Individualverkehrs über die reine Fortbewegungsfunktion weit hinaus. 87% der Befragten in einer Studie zum Mobilitätsverhalten der deutschen Bevölkerung aus dem Jahr 2005 waren der Ansicht, dass Mobilität nicht nur der bloßen Raumüberwindung dient, sondern ebenso Ausdruck des Lebensstils ist. 93% stimmten der These zu, dass Mobilität innerhalb der deutschen Bevölkerung mit Freiheit verbunden wird.¹ Heute besitzt im Durchschnitt etwa jeder zweite Deutsche und jeder zweite EU-Bürger einen Pkw. In den USA, die einen Spitzenplatz hinsichtlich der Ausstattung der Bevölkerung mit Pkws belegen, entfallen auf 1 000 Einwohner 700 Pkws. Los Angeles ist mit 910 Pkws pro 1 000 Einwohner die Stadt mit der weltweit höchsten Pkw-Dichte.²

Die Motorisierung der Weltbevölkerung und das Verkehrsaufkommen werden künftig weiter zunehmen. Die zentralen Triebkräfte hinter diesen Entwicklungen werden das immense Bevölkerungswachstum und die rasant steigenden Einkommen in zahlreichen Regionen der Welt sein. Eine überdurchschnittlich dynamische Entwicklung des Automobilbestandes ist in den asiatischen Schwellenländern zu erwarten. So wird beispielsweise für China eine Pkw-Dichte von 115 Pkws pro 1 000 Einwohner für das Jahr 2020 prognostiziert. Dies entspricht einer Gesamtzahl von 115 Mio. Autos. Im Jahr 2030 werden damit rund 100 Mio. Pkws mehr auf den chinesischen Straßen fahren als im Jahr 2004.³ Die zunehmende Motorisierung der Bevölkerung wird schwerpunktmäßig Städte betreffen, weil künftig ein immer größerer Teil der Weltbevölkerung in Städten leben wird. Insbesondere dort werden sich die mit dem steigenden Verkehrsaufkommen verbundenen Probleme verschärfen: Lärm, Luftverschmutzung und Staus werden das Bild wachsender Metropolen prägen. Im Verkehr werden bis heute fast ausschließlich fossile Kraftstoffe verwendet. Fossile Energierohstoffe sind jedoch nur endlich vorhanden und verursachen bei ihrer Verbrennung hohe CO₂-Emissionen. Vor dem Hintergrund weltweit steigender Mobilität muss auch der Verkehrssektor durch Energieeinsparung, den Einsatz alternativer Antriebstechnologien und Kraftstoff aus regenerativen Energiequellen einen stärkeren Beitrag zur Versorgungssicherheit und zum Klimaschutz leisten.

Die Entwicklung von Lösungsansätzen für die Verkehrsprobleme, die einerseits Folge ökonomischen Wachstums sind, andererseits langfristig auch ein Hemmnis für wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fortschritt darstellen können, ist ein hochaktuelles Thema. Die vorliegende Studie stellt dar, welche Trends die Entwicklung der Mobilität von Personen in den kommenden Jahrzehnten prägen werden und wie innovative Konzepte aussehen könnten. Zunächst werden in Kapitel 2 die Entwicklung des Pkw-Bestands sowie ihre Einflussfaktoren beschrieben und die Auswirkungen fortschreitender Urbanisierung hierauf dargestellt. Kapitel 3 befasst sich mit der Frage, welchen Beitrag Innovationen in der Automobilindustrie für eine umweltschonendere Mobilität leisten können. Im Fokus dieser Betrachtung stehen neue Antriebstechnologien, alternative Kraftstoffe und die Potenziale für ihre praktische Umsetzbarkeit.

¹ Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2005).

² Vgl. Wolf (2003).

³ Vgl. DCKIH (2008).

2. Städte der Zukunft: Zwischen Verkehrschaos und Green Cities

2.1 Zunehmender Individualverkehr

Die Ausgaben der privaten Haushalte für Mobilität, das heißt für den Kauf von Fahrzeugen, den Betrieb von privaten Verkehrsmitteln und für sonstige Verkehrsleistungen, sind in den letzten Jahrzehnten in der Europäischen Union (EU) kontinuierlich gestiegen. Die durchschnittlichen Pro-Kopf-Ausgaben für Mobilität lagen in der EU im Jahre 2006 bei 1 800 Euro.⁴ In Deutschland haben die Ausgaben für Mobilität im Zeitablauf die Ausgaben für Nahrungsmittel, Getränke und Tabakwaren als zweithöchsten Ausgabenbereich der privaten Haushalte hinter den Wohnkosten abgelöst. Im Durchschnitt hat ein Deutscher im Jahr 2007 rund 2 200 Euro für Mobilität aufgewendet.

Für die Deckung der Mobilitätsbedürfnisse der europäischen Bevölkerung nimmt das Auto eine herausragende Stellung ein. Bei der Verteilung des Transportaufkommens auf die verschiedenen Verkehrsmittel, dem sogenannten Modal Split, haben sich trotz der massiven Preissenkungen im Flugverkehr in den letzten Jahren im europäischen Durchschnitt kaum nennenswerte Änderungen ergeben. In der EU war der Pkw-Anteil am Modal Split der Fahrten der privaten Haushalte in der jüngeren Vergangenheit relativ konstant und betrug im Jahr 2006 etwa 83 %. Ausgeprägte Veränderungen des Modal Split zeigten sich lediglich in einigen osteuropäischen Staaten, beispielsweise in Bulgarien, wo der Pkw-Anteil am Modal Split 1990 noch 11,7 % betrug. Er ist bis zum Jahr 2007 im Zuge steigender Einkommen sprunghaft auf 71,3 % angestiegen. In den USA nimmt der Straßenverkehr mit einem Anteil von 89,4 % eine überragende Stellung ein, während der Schienenverkehr hier kaum von Bedeutung ist. Anders gestaltet sich dies in China: Hier entfallen nur knapp 56 % auf den Straßenverkehr. Der Anteil des Schienenverkehrs beträgt etwa 36 %.⁵

Die Pkw-Dichte hat in den EU-Ländern während der letzten Jahrzehnte kontinuierlich zugenommen. Im Durchschnitt entfallen auf 1 000 EU-Bürger 466 Pkws, wobei sich Disparitäten hinsichtlich der Ausstattung mit Pkws zwischen den Ländern mit relativ hohen Pro-Kopf-Einkommen und jenen mit relativ niedrigen Pro-Kopf-Einkommen feststellen lassen (vgl. Abbildung 1). Während die Pkw-Dichte beispielsweise in Italien bei 600 liegt, verfügen nur 167 von 1 000 Rumänen über ein Auto. Die Konvergenz der Einkommen in der EU aufgrund der ökonomischen Aufholprozesse der osteuropäischen Länder trägt zu einer Reduktion der Disparitäten zwischen den EU-Ländern hinsichtlich der Motorisierung der Bevölkerung bei. In der jüngeren Vergangenheit ist die Pkw-Dichte in den EU-Ländern mit einem relativ geringen Pro-Kopf-Einkommen, insbesondere in den osteuropäischen Mitgliedsstaaten, stärker gestiegen als im europäischen Durchschnitt. So steht einem Wachstum der Pkw-Dichte um 18,5 % im Zeitraum von 1995 bis 2006 in den EU15-Staaten (Mitgliedsstaaten bis 2004) eine Zunahme der Pkws pro 1 000 Einwohner um 58,6 % in den EU12-Staaten, den relativ jungen EU-Mitgliedsländern, gegenüber. Die EU15-Staaten Dänemark, Deutschland, Italien und Schweden konnten zwischen 1995 und 2006 nur relativ geringe Wachstumsraten der Pkw-Dichte verzeichnen. Im Gegensatz dazu haben sich die Pkw-Dichten in den

⁴ Vgl. Eurostat (2009a).
⁵ Vgl. Kühn et al. (2006).

jüngeren Mitgliedsländern, beispielsweise in Bulgarien, Lettland, Litauen und Polen, in diesem Zeitraum zum Teil mehr als verdoppelt. Absolut stieg die Zahl der Pkws in der EU seit 1995 um ca. 51,3 Mio. auf knapp 230 Mio. im Jahr 2006. Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Pkw-Dichten der europäischen Staaten.

Pkws pro 1 000 Einwohner (Pkw-Dichte)

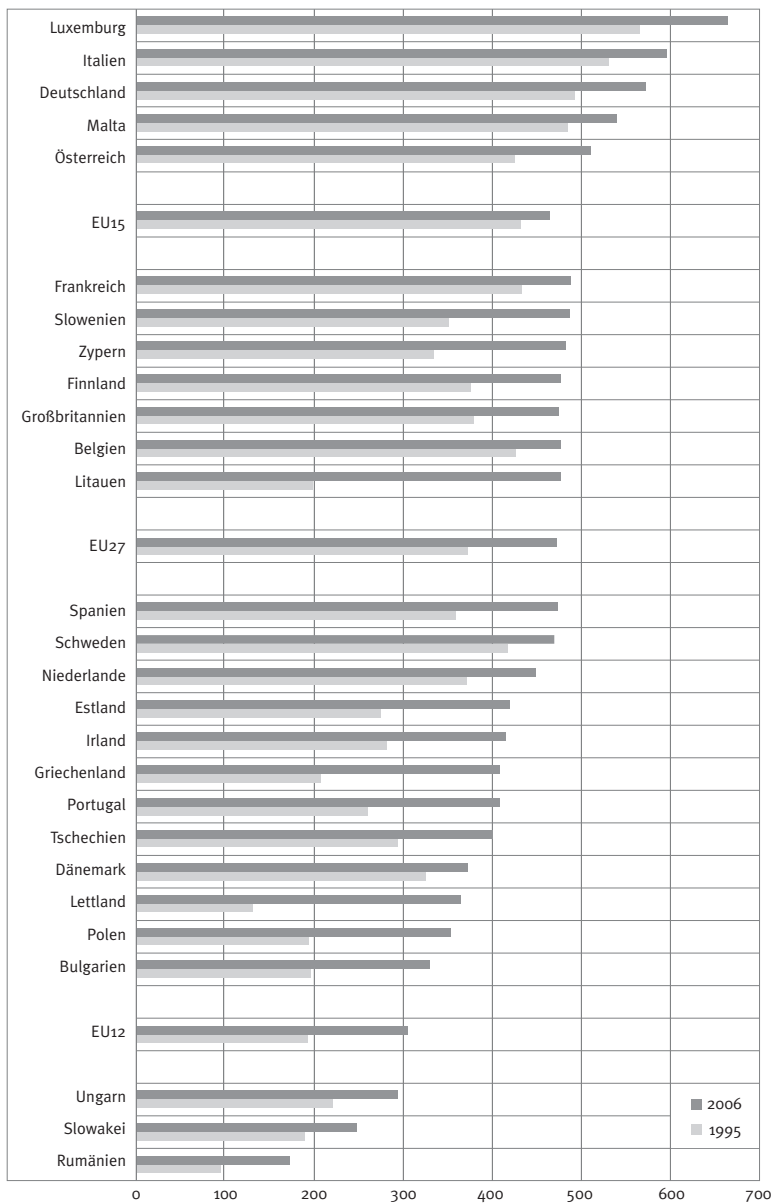


Abb. 1

Quellen: Eurostat (2009b); HWWI.

Eine kontinuierliche Zunahme der Motorisierung der Bevölkerung, wie sie in der EU stattgefunden hat, zeigt sich ebenso in anderen Regionen der Welt. Zwischen 2003 und 2008 stieg die Pkw-Dichte beispielsweise in Japan um 5% und in Kanada von 546 auf 581 Pkws je 1 000 Einwohner um über 6%.⁶

Der weltweite Anstieg der Mobilitätspotenziale aufgrund der verbesserten Ausstattung der Weltbevölkerung mit Pkws steht im engen Zusammenhang mit der ökonomischen Entwicklung. Ein relativ hohes Pro-Kopf-Einkommen in einem Land ermöglicht einer relativ breiten Bevölkerungsschicht den Zugang zu individueller Mobilität. Im Allgemeinen entwickelt sich die Pkw-Dichte unterproportional zur Einkommensentwicklung. Hanly et al. (2002) haben für die Einkommenselastizität der Pkw-Nachfrage – die prozentuale Veränderung der Nachfrage nach Automobilen bei einer einprozentigen Steigerung des Einkommens – in den Industriestaaten einen Wert zwischen 0,32 (kurzfristig) und 0,81 (langfristig) errechnet. Abbildung 2 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem Pro-Kopf-Einkommen und der Anzahl von Pkws pro 1 000 Einwohner für die EU-Länder, China, die Schweiz und die USA.

Prognosen zur Entwicklung der Pkw-Zahlen kommen für die nächsten Jahrzehnte einheitlich zu dem Ergebnis eines stark wachsenden Bestandes. Dabei hängt die künftige Entwicklung der Nachfrage nach Pkws von zahlreichen Faktoren ab, unter denen die demografischen und ökonomischen Veränderungen von hoher Bedeutung sind. Für die Entwicklung der Weltbevölkerung prognostizieren die Vereinten Nationen bis zum Jahr 2030 eine Zunahme um 40,3%.⁷ Das Welt-BIP wächst im entsprechenden Zeitraum in der Prognose der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen um 2,1% pro Jahr. Überdurchschnittlich hohe Potenziale für die weitere Expansion des motorisierten Individualverkehrs weist der asiatische Raum aufgrund der hohen absoluten Zuwächse der Bevölkerung sowie der ökonomischen Wachstumsprozesse auf (vgl. Tabelle 1).

6 Vgl. Japan Statistics Bureau & Statistics Center (2009); Statistics Canada (2009).
7 Vgl. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat (2009).

Pkw-Dichte und Pro-Kopf-Einkommen, 2006

Pkws pro 1000 Einwohner

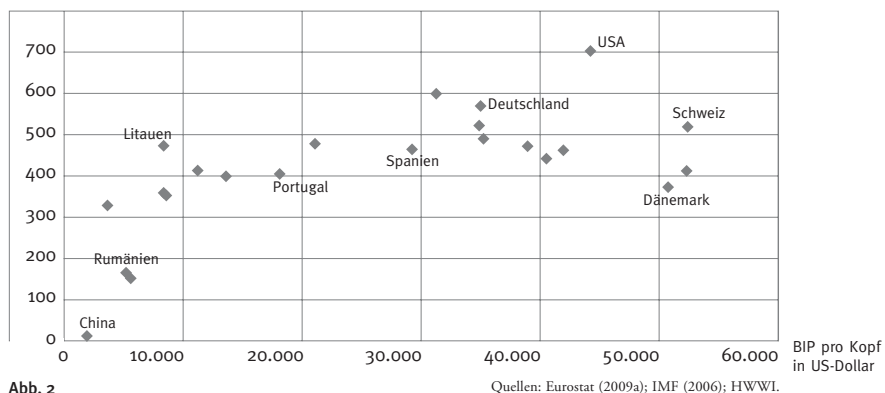


Abb. 2

Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum

	Bevölkerung 2000 in Mio.	Jährliches Bevölke- rungswachstum 2000 bis 2030 in %	Jährliches Wachstum Pro-Kopf-BIP 2000 bis 2030 in %
Welt	6.071	1,0	2,1
Entwicklungsländer	4.731	1,2	3,6
Afrika südlich der Sahara	607	2,1	1,6
Naher Osten und Nordafrika	392	1,7	2,4
Lateinamerika und Karibik	515	1,1	2,3
Südasien	1.340	1,3	4,7
Ostasien	1.877	0,6	5,3
Industrieländer	905	0,3	2,2
Transformationsländer	411	-0,3	4,5

Tab. 1

Quellen: FAO (2006); HWWI.

Neben den demografischen und ökonomischen Entwicklungen beeinflussen zahlreiche weitere Aspekte das zukünftige Wachstum der Pkw-Flotte (vgl. Tabelle 2). Die Raumstruktur, die aus der Verteilung von ökonomischen Zentren und weniger dicht besiedelten Regionen über die Fläche resultiert, ist relevant für das Verkehrsaufkommen und die relative Attraktivität des Pkw als Transportmittel.⁸ So nimmt die Bedeutung des Autoverkehrs mit wachsender Stadtgröße bzw. Siedlungsdichte zugunsten anderer Verkehrsarten ab.⁹ Darüber hinaus nehmen verkehrs- und umweltpolitische Instrumente Einfluss auf die relativen Preise unterschiedlicher Verkehrsträger, was wiederum die individuelle Entscheidung für oder gegen ein Auto betrifft. Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung des Pkw-Bestandes sind zudem technologische Entwicklungen und Innovationen von hoher Relevanz.¹⁰ Diese beeinflussen die Preise für Personentransport sowie die Qualität der Transportmittel. Gesellschaftlicher Wertewandel und die Veränderung individueller Präferenzen nehmen ebenso wie das quantitative und qualitative Angebot der Verkehrsträger Einfluss auf das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung.

⁸ Vgl. Eurostat (2005).

⁹ Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2009).

¹⁰ Kapitel 3 der vorliegenden Studie befasst sich mit neuen Technologien und ihrer Bedeutung für den Personentransport der Zukunft.

Einflussfaktoren der Motorisierung

- Wirtschaftliche Entwicklung, Bevölkerungsentwicklung und raumstrukturelle Entwicklung
- Politische Maßnahmen, insbesondere Verkehrs- und Umweltpolitik
- Technik, Technologie, Innovation
- Mensch und Arbeitswelt
- Gesellschaft, Lebensgestaltung und Werte
- Angebotsstrategien der Verkehrsträger, Mobilitätsdienstleistungen

Tab. 2

Quellen: ifmo (2002); HWWI.

Die genannten Einflussfaktoren sowie ihre absehbaren zukünftigen Veränderungen schaffen in den einzelnen Weltregionen sehr unterschiedliche Rahmenbedingungen für die Entwicklung des Pkw-Bestands. Für die Welt insgesamt prognostiziert die OECD einen Anstieg der Pkw-Dichte von 131 im Jahr 2000 auf 225 im Jahr 2030. Dies entspricht weltweit einer Zunahme der Pkw-Flotte um 1,03 Mrd. Autos bis zum Jahr 2030. Das Wachstum des Pkw-Bestandes wird unter anderem aufgrund unterschiedlicher demografischer und ökonomischer Entwicklungspfade deutlich zwischen den Weltregionen variieren. Besonders in Asien wird bis 2030 ein hohes Wachstum des Pro-Kopf-Einkommens von jährlich etwa 5% erwartet (vgl. Tabelle 1). Für den südlichen Teil des afrikanischen Kontinents wird von der FAO¹¹ hingegen lediglich ein jährliches Wachstum von 1,6% prognostiziert. Den relativ größten Zuwachs an Pkws bis 2030 realisiert in dem FAO-Szenario die Ländergruppe bestehend aus Brasilien, China, Indien, Indonesien und Russland mit einem Plus von 403,4%. Auch in den OECD-Staaten – die bereits die höchste Pkw-Dichte aufweisen – wird der Pkw-Bestand weiterhin kräftig expandieren. Zwischen den OECD-Staaten und anderen Ländern wird deshalb im Jahr 2030 weiterhin ein deutlicher Unterschied hinsichtlich des Motorisierungsgrades der Bevölkerung bestehen. Er ist in den OECD-Staaten in der Prognose im Jahr 2030 in etwa neunmal so hoch wie in dem Großteil der Entwicklungsländer. Dennoch gehen ökonomische Fortschritte in den sich entwickelnden Ländern aufgrund ihrer hohen Bevölkerungszahlen mit deutlichen Zuwächsen bei den Pkw-Zahlen einher. Diese entsprechen im Zeitraum von 2000 bis 2030 allein 438 Mio. Pkws in den fünf wachstumsstärksten Entwicklungsländern. Die Pkw-Dichte würde sich entsprechend der OECD-Prognose bis zum Jahr 2030 in Indien verdreifachen, in Indonesien vervierfachen und in China verzehnfachen.

11 FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Projektionen der Pkw-Dichte

Region	2000 Pkws je 1000 Personen	2010 Pkws je 1000 Personen	2020 Pkws je 1000 Personen	2030 Pkws je 1000 Personen	Wachstum Pkws je 1000 Personen 2000 bis 2030
Industrialisiert					
OECD	520	558	633	724	39,2 %
Nicht-OECD	190	241	326	436	129,5 %
Entwicklungsländer					
China Indien Russland Brasilien Indonesien	29	42	88	146	403,4 %
Andere	50	54	67	83	66 %
Global	131	144	180	225	71,8 %

Tab. 3

Quellen: OECD (2006); HWWI.

Es lässt sich somit festhalten, dass die Pkw-Dichte im globalen Maßstab weiterhin zunehmen wird. Von der weltweit dynamischen Entwicklung des Pkw-Bestands werden die Wachstumsraten in zahlreichen europäischen Ländern nach unten abweichen, weil sie bereits einen relativ hohen Motorisierungsgrad erreicht haben und die demografischen Entwicklungstrends in diesen Ländern sich tendenziell dämpfend auf die Nachfrage nach Mobilität auswirken. Dies trifft beispielsweise auf Deutschland zu, das ebenso wie zahlreiche andere europäische Länder künftig von einem Rückgang der Bevölkerung und einem Anstieg ihres Durchschnittsalters betroffen sein wird.¹²

Für die Zukunft ergeben Mobilitätsszenarien¹³ für Deutschland einen – gemessen an den weltweiten Wachstumsraten – moderaten Anstieg der Pkw-Zahlen (vgl. Abbildung 3). Der Grund für vergleichsweise geringe Wachstumsraten des Pkw-Bestandes in Deutschland ist, dass die Effekte zunehmender Motorisierung und zunehmenden Führerscheinbesitzes durch die gegenläufige demografische Entwicklung zu einem großen Teil kompensiert werden. Ältere Bevölkerungsmitglieder weisen aus vielfältigen Gründen ein anderes Mobilitätsverhalten auf als jüngere Personen. Eine Mobilitätsstudie von Shell schätzt die derzeitige durchschnittliche jährliche Fahrleistung der über 60-Jährigen auf unter 5 000 km, während sie bei der Gruppe der 30- bis 39-Jährigen bei geschätzten 16 500 km liegt.¹⁴ Deshalb werden sich infolge altersstruktureller Veränderungen die relative Bedeutung unterschiedlicher Mobilitätsmotive, das Verkehrsaufkommen sowie die Aufteilung des Verkehrs auf verschiedene Verkehrsmittel verändern. Auch wenn die Pkw-Zahlen in Deutschland sich nur moderat entwickeln, eröffnet die ansteigende Motorisierung in den Entwicklungs- und Schwellenländern den deutschen Automobilherstellern und -zulieferern zukünftige Absatzchancen (vgl. Kasten 1).

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung prognostiziert für die Entwicklung des Verkehrsaufkommens in Deutschland, gemessen als Zahl der Wege über alle Verkehrsarten, bis zum Jahr 2050 einen Anstieg um 4 % bis 7 %. Gleichzeitig wird ein leichtes Ansteigen der Verkehrsleistung – das Produkt der Anzahl der transportierten Personen und der zurückgelegten Strecke – prognostiziert. Weil Verkehrsprognosen von einer Reihe von Faktoren abhängen, die im Zeitablauf stark variieren können, wie der Entwicklung des Ölpreises, des Bruttoinlandsproduktes oder der technischen Entwicklung, wird die zukünftige Mobilitätsentwicklung häufig in Szenarien abgebildet. Die Szenarien »Gleitender Übergang« und »Dynamische Anpassung« des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung unterscheiden sich in erster Linie hinsichtlich ihrer Annahmen bezüglich der Preisentwicklung im Verkehrsbereich und der künftigen Siedlungsstruktur. Die Veränderung des Bestands an Pkw variiert demnach zwischen +12 % und -1 % gegenüber dem Jahr 2000. Das Shell-Szenario geht bis 2030 von einem Wachstum von fast 6 % aus. Diese Studie konzentriert sich vor allem auf die Auswirkungen des demografischen Wandels auf den Pkw-Bestand und geht detailliert auf den Konvergenzprozess des Pkw- und Führerscheinbesitzes von Männern und Frauen ein.¹⁵

¹² Vgl. Statistisches Bundesamt (2006).

¹³ Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, (2006a); ifmo (2002); WBCSD (2004).

¹⁴ Vgl. Shell (2009).

¹⁵ Ebenda.

Die deutsche Automobilindustrie

In Deutschland ist die Automobilindustrie nach wie vor der wichtigste Wirtschaftszweig. Die deutschen Hersteller produzierten im Jahr 2007 rund 10,15 Mio. Pkws. Davon wurden 5,40 Mio. Pkws in Deutschland gefertigt, 4,75 Mio. im Ausland. Rund 8 Mio. Pkws von deutschen Herstellern wurden im Ausland abgesetzt, rund 4 Mio. im Inland. Der größte Teil des Exports geht nach Westeuropa (vgl. Abbildung 3). Die Bruttowertschöpfung durch Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen betrug über 50 Mrd. Euro. In Deutschland waren im Jahr 2008 rund 781 000 Arbeitnehmer in der Automobilindustrie direkt beschäftigt. Über Zulieferer und Vorleistungsverflechtungen ergeben sich noch weit höhere Werte. So beträgt die indirekt von der Automobilwirtschaft abhängige Bruttowertschöpfung rund 130 Mrd. Euro, und etwa 1,8 Mio. Menschen sind indirekt durch diese beschäftigt.¹⁶

Seit Ende 2008 haben die Automobilhersteller im Zuge der Finanz- und Wirtschaftskrise weltweit einen deutlichen Einbruch in den Absatzzahlen zu verzeichnen. So wurden allein in Deutschland im ersten Quartal 2009 gegenüber dem Vorjahr rund ein Drittel weniger Pkws hergestellt. Typischerweise reduzieren beziehungsweise verschieben private Haushalte in Zeiten von Krisen vor allem ihre Ausgaben bei den langlebigen Konsumgütern. Die staatliche Abwrackprämie (»Umweltprämie«) sollte finanzielle Anreize bieten, den Autokauf vorzuziehen, und auf diese Weise den Absatzzrückgang mildern. Wer heute kauft, wird allerdings nicht auch morgen kaufen. Die Abwrackprämie sorgt daher nicht für einen insgesamt höheren Absatz, sondern allenfalls für eine Glättung der Nachfrage nach Pkws über die Zeit.

Gerade für die Automobilindustrie wird jedoch oft behauptet, dass der Absatzzrückgang nicht allein konjunkturelle, sondern auch strukturelle Ursachen habe. Ein Abbau der Überkapazitäten sei unumgänglich und eine Marktbereinigung erforderlich. Tatsächlich ist aber in den nächsten Jahren mit einer enormen Motorisierung insbesondere in den schnell wachsenden und bevölkerungsreichen Entwicklungs- und Schwellenländern zu rechnen. Bislang geht nur

ein kleiner Teil der deutschen Automobilexporte in diese Länder (vgl. Abbildung 3). Um auf den wachsenden Absatzmärkten in Asien wettbewerbsfähig zu sein, ist es für die deutschen Automobilhersteller wichtig, adäquate Modelle für diese Märkte zu entwickeln. Umweltfreundliche und verbrauchsarme Technologien haben hierbei eine große Bedeutung.

Pkw-Exporte nach Weltregionen, 2007

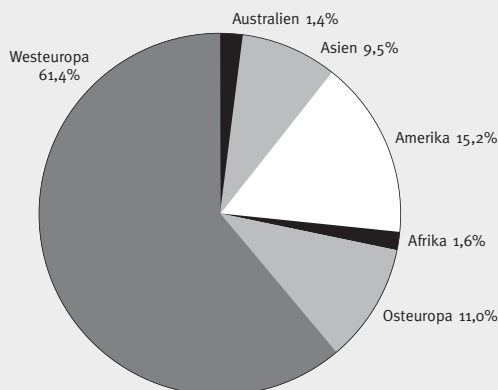


Abb. 3

Quelle: VDA (2009).

Szenarien zur Entwicklung des Pkw-Bestands in Deutschland

(2000 = 100)

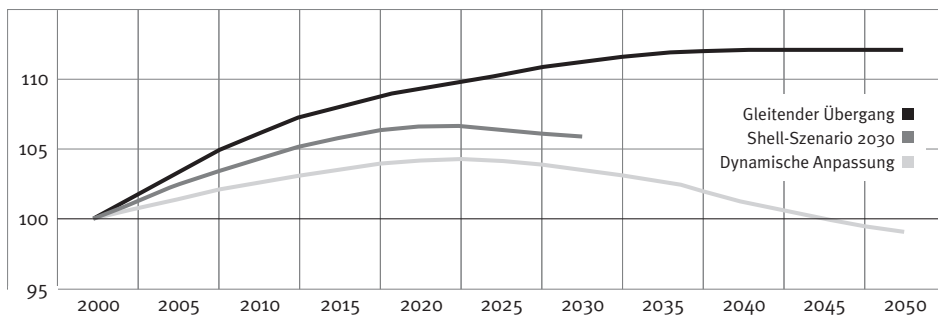


Abb. 4

Quellen: BMVBS (2006a); Shell (2009); HWWI.

2.2 Urbanisierung und umweltschonende Stadtentwicklung

Der kontinuierliche Anstieg der Motorisierung der Weltbevölkerung wird einhergehen mit einer starken Zunahme des Verkehrsaufkommens. Die OECD prognostiziert bis zum Jahr 2030 eine Zunahme des privaten Personenverkehrs um 438,3%.¹⁷ Das zusätzliche Verkehrsaufkommen wird nicht gleichmäßig über die Fläche verteilt sein, denn die ökonomische Raumstruktur ist geprägt von einer zunehmenden Differenzierung in dynamische ökonomische Zentren und schrumpfende, periphere Regionen. Die regionalen Unterschiede hinsichtlich der Betroffenheit von wachsenden Umweltbelastungen durch das zusätzliche Verkehrsaufkommen werden sich deshalb künftig weiter verschärfen. Denn demografischen und ökonomischen Prognosen zufolge wird die zunehmende Bedeutung von Städten als Arbeits- und Lebensort ein globaler Trend sein, der die Entwicklung der räumlichen Strukturen in den kommenden Jahrzehnten weltweit dominieren wird. Nach Schätzungen der Vereinten Nationen werden bis zum Jahr 2030 rund 60% der Weltbevölkerung in Städten leben, im Jahre 2050 werden es in diesem Szenario 70% sein (vgl. Abbildung 5).

In der Folge nimmt die Bedeutung von Städten als ökonomische Zentren und Wachstumsmotoren für die sie umgebenden Regionen zu. Menschen strömen täglich in die Städte, weil sie dort ihre Arbeitsplätze haben. Aus den intensiven Arbeitsmarktverflechtungen zwischen Städten und ihrem Umland resultiert ein erhebliches Verkehrsaufkommen aufgrund von Pendlern (vgl. Kasten 2). Das Pendeln zum Ausbildungs- oder Arbeitsort ist in Europa eines der dominierenden Mobilitätsmotive von Personen, auf das durchschnittlich 30% aller zurückgelegten Wege entfallen.¹⁸ Die Raumstruktur beeinflusst neben der Verteilung der Verkehrsströme auch die Reisezeiten. Hinsichtlich der durchschnittlich zurückgelegten Wegstrecken weisen weniger dicht besiedelte Länder wie Finnland und Schweden mit durchschnittlich 45,8 bzw. 44,2 km pro Person und Tag deutlich höhere durchschnittliche Wegstrecken auf als etwa Großbritannien oder die Niederlande mit 29,9 bzw. 33,6.¹⁹

¹⁷ Vgl. OECD (2006).

¹⁸ Vgl. Eurostat (2005).

¹⁹ Ebenda.

Verteilung der Weltbevölkerung

Angaben in Mrd.

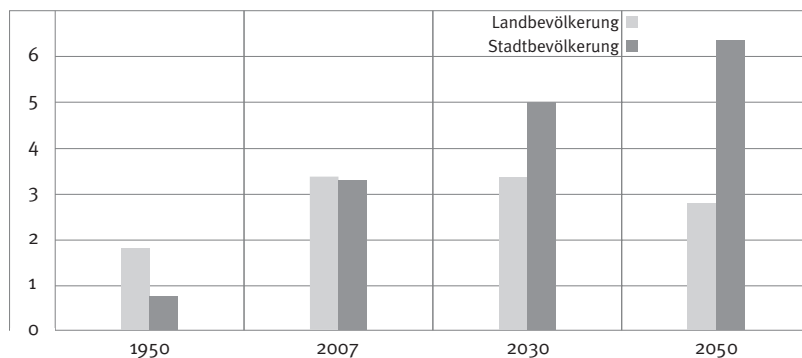


Abb. 5

Quellen: Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat (2009); HWWI.

Eine besondere Stellung unter den wachsenden Agglomerationsräumen nehmen sogenannte Megacities ein. Gegenwärtig leben bereits etwa 10% der Weltbevölkerung in solchen Metropolen, die die Vereinten Nationen als Städte mit über 10 Mio. Einwohnern klassifizieren. Weltweit gibt es mittlerweile 24 Megacities. In Nordamerika zählen aktuell Los Angeles und New York, in Europa Istanbul, Moskau und Paris zu dieser Gruppe. Die meisten Megacities befinden sich in weniger stark entwickelten Regionen in China und Indien. Solche Agglomerationen erreichen nicht nur bei der Bevölkerungszahl eine andere Dimension als die Großstädte des 20. Jahrhunderts: Sie weisen eine deutlich höhere Anzahl und Vielfalt von Arbeitsplätzen auf, insbesondere im Dienstleistungssektor. Für das Funktionieren von Megacities werden leistungsfähige und hochkomplexe Verkehrssysteme benötigt. Städte dieser Größenordnung übernehmen internationale Dienstleistungsfunktionen, und kulturelle sowie sozioökonomische Vielfalt setzen in diesen Metropolen neue Rahmenbedingungen für menschliches Zusammenleben. Ein besonderes Charakteristikum von Megacities ist, dass sie Wirtschaftsmotoren ihres jeweiligen Landes sind. So ist der Anteil der Megacities am nationalen Bruttoinlandsprodukt deutlich höher als ihr Anteil an der Gesamtbevölkerung des jeweiligen Landes.

Im Zuge ökonomischer Wachstumsprozesse und der zunehmenden Motorisierung der Bevölkerung wird sich das Verkehrsaufkommen aufgrund von Pendeln künftig weiter dynamisch entwickeln. Die Richtung und Stärke von Pendlerströmen ergibt sich letztendlich aus dem Zusammenspiel der Standortentscheidungen von Unternehmen und Haushalten. Die Stadtstrukturtheorie von William Alonso (1964) erklärt, wie die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaftssubjekten die Raumstruktur prägen, und ermöglicht damit die Bestimmung der Siedlungsdichte in der Stadt im räumlichen Gleichgewicht. Das Alonso-Modell verdeutlicht, dass die Standortentscheidungen rational handelnder Individuen das Ergebnis eines Vergleiches der Vorteile und Kosten verschie-

Stadtzentren: Magnete für Pendler

Die Siedlungsstruktur und die räumliche Verteilung von Arbeitsplätzen sind entscheidende Determinanten für die Pendelintensität, die Struktur der räumlichen Pendelverflechtungen und damit für die regionale Verteilung von Verkehrsströmen. In Anlehnung an physikalische Gesetzmäßigkeiten zeigen Gravitationsmodelle, dass die Intensität von Pendlerströmen zwischen zwei Orten eine Funktion der Bevölkerungsgröße am Ausgangsort, des Arbeitsplatzangebotes am Zielort, der Transportkosten sowie der räumlichen Distanz zwischen diesen beiden Standorten ist. Eine Distanzverlängerung oder eine Erhöhung der Transportkosten beeinflusst das Pendelaufkommen negativ. Die Pendlerintensität von Beschäftigten aus dem Umland ins Arbeitsplatzzentrum sinkt mit zunehmender Entfernung zwischen Wohnorten und Arbeitsorten. Marvakov und Mathä (2007) zeigen, dass in der EU Pendler auf Arbeitsmarktungleichgewichte, wie Differenzen in Löhnen und Arbeitslosigkeit, reagieren und besonders Regionen mit einem hohen Urbanisationsgrad mehr Pendler anziehen und weniger Auspendler aufweisen als nichturbane Regionen. In die Megastädte pendeln täglich mehrere Millionen Menschen. Beispielsweise lag im Jahre 2000 die Tagespopulation in Tokio etwa 2,6 Mio. Menschen über der Nachtpopulation, was auf die große Anzahl von pendelnden Erwerbstätigen, Schülern und Studenten zurückzuführen ist. Innerhalb des Zeitraumes von 1965 bis 2005 ist die Nachtpopulation dort um 14,3 % gestiegen, während sich die Tagespopulation um 27,5 % vergrößert hat.²⁰ Weltweit weisen Städte, die Arbeitsplatzzentren darstellen, positive Pendersalden auf. In Deutschland sind dies die Oberzentren.²¹ Deren überregionale ökonomische Bedeutung zeigt sich in der hohen Beschäftigungsdichte in diesen Zentren und ihrer herausragenden Stellung als Ziel von Pendlern. So übertrifft beispielsweise in den zehn größten deutschen Städten die Zahl der Einpendler jene der Auspendler um ein Vielfaches (vgl. Abbildung 6). Im Zeitablauf haben sich die Pendlereinzugsbereiche dieser Zentren, unter anderem aufgrund des Ausbaus der Verkehrsinfrastruktur, kontinuierlich vergrößert. Die durchschnittlichen Pendeldistanzen, insbesondere aus schwachen Arbeitsmarktregionen in Oberzentren, haben zugenommen, was zu einem kontinuierlichen Anstieg des Verkehrsaufkommens durch Pendeln geführt hat.

Kasten 2

²⁰ Vgl. Tokio Metropolitan Government (2009).
²¹ Vgl. Einig/Pütz (2007); Schulze (2009).

Pendler in deutschen Städten, 2008

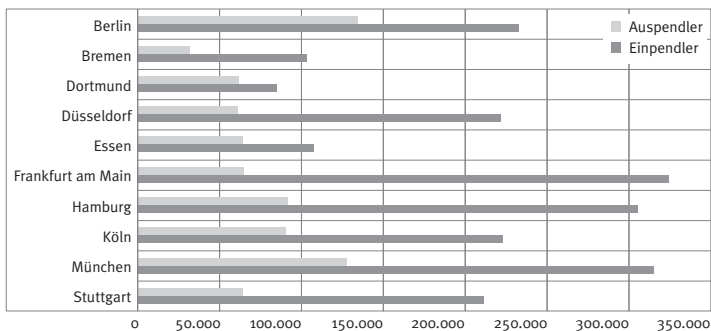


Abb. 6

Quellen: Bundesagentur für Arbeit (2008); HWWI.

dener Standort-Alternativen sind. Die Präferenz eines Haushaltes ist entscheidend dafür, in welcher Distanz vom Zentrum der Haushalt seinen Wohnort wählt. Da Pendelkosten umso höher sind, je größer die Distanz zwischen Wohnort und Arbeitsplatz ist, Mietpreise hingegen mit zunehmender Entfernung vom Arbeitsplatzzentrum abnehmen, werden laut der neoklassischen Standorttheorie und unter der Annahme rationalen Handelns Standplätze, die weit auseinanderliegen, nur dann gewählt, wenn die erhöhten Pendelkosten durch andere Vorteile ausgeglichen werden. Dazu zählen höhere Löhne und/oder niedrigere Wohnkosten oder günstigere Arbeits- und/oder Wohnbedingungen. Anhand des Stadtstrukturmodells lässt sich erkennen, wie sich das Pendeln in Megastädten entwickeln könnte.

Bröcker (1988) erklärt mittels komparativer statischer Analyse, wie sich Änderungen von exogenen Variablen auf die endogenen Variablen innerhalb des Stadtstrukturmodells auswirken. Die kontinuierliche Zunahme der Bevölkerungszahl in Megastädten führt demnach zu steigenden Bodenpreisen. Folglich sinkt die Bodennachfrage der Haushalte im Zentrum, und die Stadtgröße steigt aufgrund einer verstärkten Suburbanisierung. Immer mehr Haushalte werden in die Peripherie abwandern, da die Bodenpreise mit zunehmender Entfernung vom Zentrum günstiger werden. Dies führt zu einer Verlängerung der Pendeldistanzen. Auch eine Abnahme der Transportkosten oder eine Zunahme des Haushaltseinkommens führt laut dem Stadtstrukturmodell zu einer Vergrößerung der Stadt. Auf Basis des Alonso-Modells lässt sich somit begründen, dass die Megastädte auch in Zukunft weiter wachsen werden und sich auch andere Städte zu Megastädten entwickeln werden.

Abbildung 7 stellt die geografische Verteilung der Megacities und den Umfang der jeweiligen Bevölkerung dar. Zwanzig von diesen Städten werden im Jahr 2025 mehr als 20 Mio. Einwohner haben. Aufgrund des rasanten Wachstums dieser Städte (vgl. Abbildung 8) bei gleichzeitig steigendem Motorisierungsgrad der Bevölkerung und Pendelaufkommen droht diesen Städten das Verkehrschaos. So gilt es beispielsweise in Kalkutta, Dakar, Bombay und Dehli, Bevölkerungszuwächse von 6 bis 9 Mio. innerhalb von 20 Jahren zu verkraften. Manila, Lahore und Peking wachsen in diesem Zeitraum um 4 Mio. Menschen. Die Umsetzung neuer Technologien und die Implementierung neuer Verkehrssysteme können einen Beitrag zur Lösung der wachsenden Verkehrsprobleme in diesen Städten leisten. Dabei ist ein funktionierendes Verkehrswesen auch künftig einer der zentralen Schlüsselfaktoren für die Wettbewerbsfähigkeit von Städten.

Um dem wachsenden Verkehrsaufkommen gerecht zu werden, sind daher erhebliche Investitionen in die Infrastruktur notwendig, insbesondere in Ballungsräumen. Die weltweit zunehmende Motorisierung erfordert den Bau von neuen Straßen- und Verkehrssystemen, auch im Zusammenhang mit dem Aufbau der Netzstrukturen für neue Antriebstechnologien und alternative Kraftstoffe. Zudem steigen mit der Ausweitung des Straßennetzes auch die Kosten für die Erhaltung und Wartung der bereits bestehenden Infrastruktur. Gleichzeitig induziert der Ausbau des Straßennetzes zusätzlichen Verkehr, weil eine bessere Infrastruktur Anreize setzt, diese mehr zu nutzen.

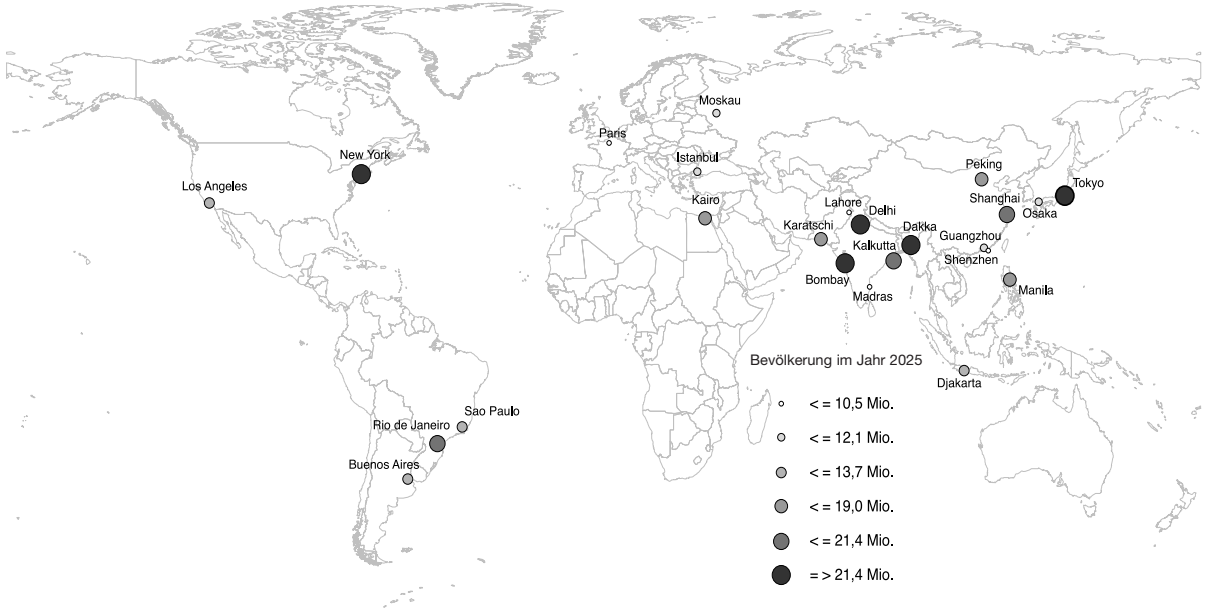


Abb. 7

Quellen: United Nations (2007); Berechnungen HWWI.

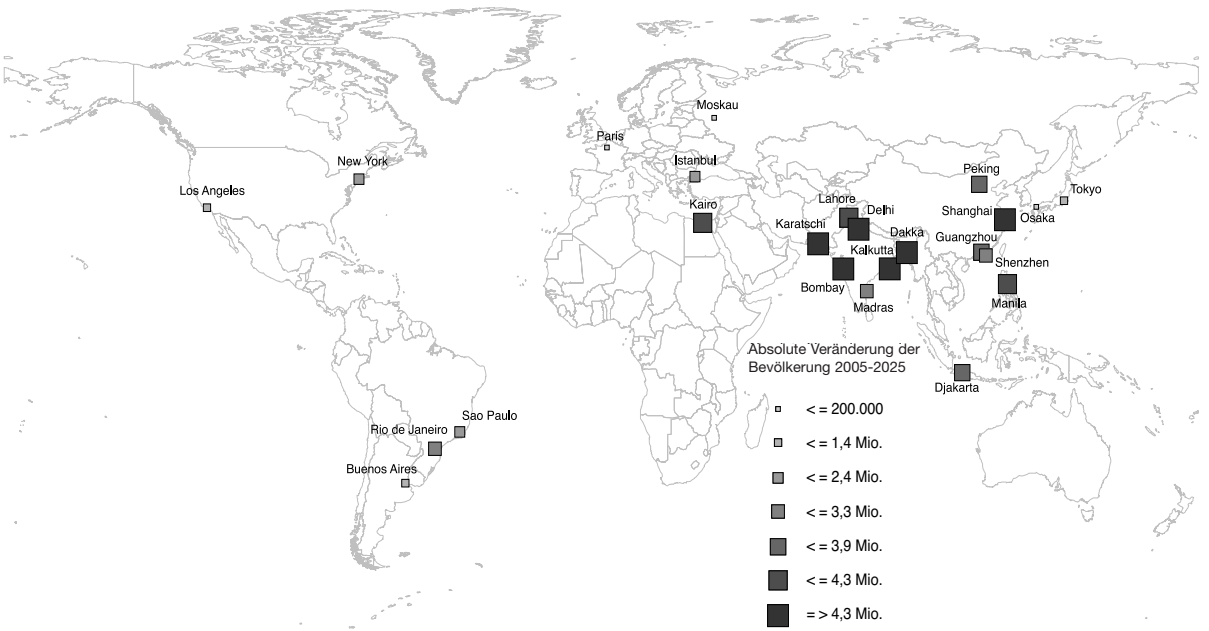


Abb. 8

Quellen: United Nations (2007); Berechnungen HWWI.

Projektion der Ausgaben für das Straßennetz

Mrd. US-Dollar (% BIP)

Region	2000	2010	2020	2030
Industrialisiert				
OECD	98,7 (0,31)	159,4 (0,44)	167,1 (0,37)	178,1 (0,32)
Nicht-OECD	1,7 (0,05)	8,6 (0,22)	9,5 (0,19)	13,1 (0,21)
Entwicklungsländer				
China				
Indien				
Russland	9,3 (0,07)	36,6 (0,19)	46,6 (0,17)	64,7 (0,16)
Brasilien				
Indonesien				
Andere	5,0 (0,08)	15,7 (0,20)	22,0 (0,21)	36,4 (0,26)
Global	114,8 (0,21)	220,3 (0,33)	245,2 (0,28)	292,3 (0,25)

Tab. 4

Quellen: OECD (2006); HWWI.

Tabelle 4 stellt eine Prognose zur Entwicklung der Ausgaben für den Straßenbau bis zum Jahre 2030 dar, die in dem Prognosezeitraum kontinuierlich zunehmen. Die geschätzten Ausgaben für das Straßennetz steigen bis zum Jahr 2030 in den Entwicklungsländern aufgrund von Aufholeffekten deutlich stärker als in den OECD-Staaten. Generell lässt sich feststellen, dass in entwickelten Städten das Hauptproblem im Zusammenhang mit der Verkehrsinfrastruktur veraltete Verkehrssysteme sind, deren Erneuerung hohe Investitionssummen erfordert. In aufstrebenden Städten und Schwellenstädten stellen hingegen Kapazitätsengpässe und mangelnde Basisinfrastruktur die Hauptprobleme dar.²² Beispielsweise verfügt die pakistanische Megacity Karatschi über kein Schienennetz für den öffentlichen Nahverkehr.

Das zunehmende Verkehrsaufkommen erfordert jedoch nicht nur den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur. Externe Effekte der Mobilität und des daraus resultierenden Verkehrs sind unter anderem Luftverschmutzung, Klimaschäden, Lärmbelastung, Unfälle und Zeitkosten – verursacht durch Verkehrsstaus. Die Stadtentwicklungspolitik der Zukunft steht vor der Herausforderung, diese negativen Agglomerationseffekte, die sich im Zuge der fortschreitenden Urbanisierung intensivieren werden, einzudämmen. Insbesondere in den asiatischen Boomtowns entwickeln sich zunehmend negative Verkehrsexternalitäten – dies sind die negativen Auswirkungen, die Verkehrsteilnehmer auf andere Menschen und Unternehmen haben, ohne diese dafür zu entschädigen – aufgrund des immensen Wirtschaftswachstums. Hierauf wird bereits vielerorts mit innovativen und umweltschonenden Stadtentwicklungskonzepten reagiert, wie das Beispiel Singapur zeigt (vgl. Kasten 3). Eine zentrale Rolle spielen hierin der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV), hohe

²² Vgl. GlobeScan/MRC McLean Hazel (2007).

Singapur/Sejong

Fast nirgends auf der Welt ist die Bevölkerungsdichte mit 4,6 Mio. Einwohnern auf 650 km² so hoch wie in Singapur. Entsprechend stellen Überfüllungseffekte die Leistungsfähigkeit der Verkehrssysteme auf die Probe. Dass ein effizientes und nachhaltiges Verkehrsmanagement auch in wachsenden Metropolen möglich ist, hat die dortige Regierung gezeigt. Mit der konsequenten Umsetzung innovativer Konzepte ist Singapur die Vorzeigestadt für nachhaltige Mobilität im gesamten südostasiatischen Raum. Selbst im Vergleich zu europäischen Großstädten kann Singapur als Vorbild gelten: 60% der Verkehrsteilnehmer nutzen den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV), während europäische Großstädte bereits ab einer Quote von 30% als erfolgreich im Hinblick auf die Nutzung des ÖPNV gelten. Im Verkehrssystem des ÖPNV von Singapur kommt Bussen und innovativen Technologien eine wichtige Rolle zu. Seit 2005 gibt es Pilotprojekte mit gasangetriebenen Bussen.

Die hohe Auslastung des ÖPNV wird vor allem durch die Restriktionen für Pkw-Neuzulassungen und die weltweit höchsten Gebühren für private Kraftfahrzeuge erreicht. Das jährliche Wachstum von Neuzulassungen ist auf 3% begrenzt, das heißt, es muss vor dem Autokauf eine Lizenz ersteigert werden, was nur dann möglich ist, wenn ein altes Auto abgemeldet wird. Die Nutzung der Schnellstraßen und Autobahnen ist gebührenpflichtig. Die verkehrspolitischen Konzepte greifen in Singapur: Das Verhältnis von Autos zu Einwohnern beträgt 1:10, während es in Hamburg beispielsweise bei 1:2,7 liegt. Außerdem werden keine Gebrauchtwagen, die älter als drei Jahre sind, zugelassen. Bei älteren Autos wird regelmäßig der Abgasausstoß kontrolliert, für den die Euro II Norm die Referenz darstellt. Zusätzlich ist bleihaltiges Benzin verboten und der Schwefelanteil im Diesel gesetzlich auf 0,05% beschränkt worden. Durch Steuervergünstigungen wird der Kauf von Elektro- und Hybridfahrzeugen angeregt. Es existieren Geräuschemissionsgrenzen, und es wird spezieller Asphalt verbaut, der Fahrgeräusche verringert. Auch bei den Nahverkehrszügen werden die Fahrgeräusche durch Gummireifen und Betongleise gedämmt.

Die Pläne des ÖPNV für Sejong, die geplante neue südkoreanische Haupt- und Verwaltungsstadt, basieren auf einem sogenannten Bus-Rapid-Transit-System. Die Busse, die wie in Singapur auch mit einem Informationssystem für die Passagiere ausgerüstet werden, sollen es auf eigenen Busspuren den Einwohnern der neuen Stadt ermöglichen, jeden Ort der Stadt innerhalb von 20 Minuten zu erreichen, indem die Busse annähernd mit einer Geschwindigkeit von Zügen fahren. Bis 2030 soll in Sejong eine halbe Million Menschen auf 73 km² leben. Die ringförmig konzipierte Stadt wird um einen 3,3 km² großen Platz herumgebaut und soll einen Grünflächenanteil von über 50% haben. Der Bus Rapid Transit verbindet mit einem ca. 20 km langen, kreisförmigen Korridor, an dem alle 400 bis 600 m Haltestellen vorgesehen sind, die verschiedenen Stadtteile. Zusätzlich ist die Stadt so geplant, dass Fußgängerzonen und Fahrradwege den Einwohnern die Vorteile eines umweltfreundlichen Transportsystems nahelegen sollen.²³

Kasten 3

²³ Vgl. Singapore Department of Statistics (2001); Nee, S. C. (2007); Pfannerstill (2008); Fuchs/Pütz (2003); Say (2001); Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2007); Multifunctional Administrative City Construction Agency (2008).

Kosten für individuelle Mobilität, aber auch der Einsatz von Verkehrsmitteln mit neuen Antriebstechnologien.

Die Ansätze zur Reduzierung der negativen Effekte des Straßenverkehrs sind vielfältig. Treibstoffsteuern bieten eine Möglichkeit, den Verursachern der Schadstoffemissionen die Kosten anzulasten. Als Internalisierungsmaßnahmen sind auch Geschwindigkeitsbegrenzungen hilfreich. Es bietet sich weiterhin an, Emissionsstandards für neue Fahrzeuge festzulegen sowie Forschung und Einführung von schadstoffarmen Kraftstoffen und Technologien staatlich zu fördern (siehe Kapitel 3.3). Außerdem kann festgelegt werden, dass Fahrzeuge, die bestimmte Schadstoffgrenzwerte nicht einhalten, bestimmte Gebiete wie Stadtzentren nicht befahren dürfen. Dies sind in Deutschland beispielsweise sogenannte Umweltzonen. Der Modal Split hängt zudem von der Qualität der einzelnen Komponenten der Verkehrsinfrastruktur ab. Durch eine Verbesserung der Qualität und einen Ausbau der Radwege und des ÖPNV lässt sich die intensivere Nutzung umweltschonender Verkehrsmittel erreichen. Zunehmend werden Anreize für eine umweltschonende Stadtentwicklung auch durch Wettbewerbe gesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist die Vergabe des Titels »European Green Capital« durch die Europäische Kommission, der im Jahr 2011 an Hamburg gehen wird (vgl. Kasten 4).

Weil Luftschadstoffemissionen und Lärmbelastungen wesentlich von Fahrzeugcharakteristiken, Geschwindigkeit, Verkehrsaufkommen, Tageszeit und der bereits vorhandenen Belastung der Straße abhängen, bietet es sich an, Straßenbenutzungsgebühren wie Lkw-Maut oder Vignetten auf einigen Strecken einzuführen, die insbesondere in Spitzenlastzeiten den Verkehr reduzieren sollen. Road-Pricing-Systeme bestehen beispielsweise in London, Melbourne, Oslo, Singapur und Toronto. In London existiert dieses System seit 2003 von 7 bis 18 Uhr an Werktagen innerhalb einer Zone in der Innenstadt. Ein Vergleich der Situation von 2002 vor der Einführung des Road Pricings mit der von 2007 zeigt, dass das Verkehrsaufkommen aller Fahrzeuge innerhalb der regulierten Zone um 16 % gesunken ist und die Zahl der Radfahrer dort um 66 % gestiegen ist. Die Häufigkeit und die Dauer von Staus sind seit der Einführung des »Road Pricings« in London deutlich zurückgegangen, der Abgasausstoß hat abgenommen, und die Zahl der Unfälle ist um 20% gesunken.²⁴

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die zunehmende Urbanisierung in Kombination mit kontinuierlicher Motorisierung die Städte vor wachsende Herausforderungen hinsichtlich der Bewältigung der Verkehrsprobleme stellt. Gleichzeitig bringt diese Problematik aber auch gesellschaftliche und ökonomische Chancen mit sich, beispielsweise durch die Entwicklung von Lösungen, die den ÖPNV attraktiver werden lassen und die Umweltbedingungen – und damit die Lebensqualität – in den Städten erhöhen. Zudem gibt es ökonomische Anreize, durch Innovationen und technologischen Fortschritt die Entwicklung von nachhaltiger Mobilität zu gestalten.

²⁴ Vgl. Transport for London (2008); GlobeScan/MRC McLean Hazel (2007).

Hamburg²⁵

2011 wird Hamburg nach Stockholm die zweite europäische Stadt sein, die den Titel »European Green Capital« trägt. Damit wurde das Engagement Hamburgs, sich den Herausforderungen des Klimawandels und der zunehmenden Nachfrage nach Mobilität durch die Bürger zu stellen, belohnt.

Die Fahrgastzahlen des ÖPNV legten zwischen 2003 und 2007 um 15,5 % zu. Mit nur einem Verkehrsverbund ist das Angebot übersichtlich. Außerdem wohnt durch 150 neue Bushaltestellen jetzt fast jeder Hamburger innerhalb von 300 m zur nächsten Haltestelle des ÖPNV. Die Frequenz der U-Bahnen wurde auf fünf Minuten gesenkt. Am Wochenende fahren S- und U-Bahnen durchgängig und auch die Einführung der 22 Metrobuslinien, deren Frequenz unter zehn Minuten liegt, hat die Fahrgastzahlen allein auf diesen Linien in den letzten sieben Jahren um 20 % erhöht. Zudem ist die Nutzung des ÖPNV an den jährlich vier autofreien Sonntagen kostenlos. Aber nicht allein das verbesserte ÖPNV-Angebot und die darauf folgende verstärkte Nutzung hat zur Wahl Hamburgs zur »European Green Capital 2011« geführt, sondern auch die Neuausrichtung in den Antriebssystemen. Mit inzwischen neun Wasserstoffbussen fahren in Hamburg so viele wie in keiner anderen Stadt auf der Welt. Des Weiteren ist in der neu entstehenden HafenCity eine Wasserstofftankstelle geplant, und auf der Alster fährt inzwischen eine Wasserstofffähre. Aber auch die herkömmlich angetriebenen Busse wurden umwelttechnisch aufgerüstet. Seit 2007 sind 75 % aller Busse sogenannte Low-Emission-Buses. Bis 2020 soll der Umstieg auf Gelenkhybridbusse abgeschlossen sein. Hamburg unterstützt zusätzlich die Initiative »Grüne Taxis«, mit der die Indienstellung von 1 000 gasbetriebenen Taxis gefördert wird.

Auch außerhalb des ÖPNV hat die Umstellung auf umweltfreundliche Antriebstechniken begonnen. Inzwischen werden auf dem Hamburger Flughafen nur noch gasbetriebene Fahrzeuge in Dienst gestellt. Auch die Erhebung der Ladeentgelte soll sich in Zukunft nach den Emissionen richten. Im Hafen gelten verringerte Gebühren für umweltfreundliche Schiffe, und »Containertaxis« transportieren Container zwischen den verschiedenen Quais und können auf diese Weise pro Fahrt bis zu 60 Lkw-Fahrten ersetzen. Die Hamburger Stadtreinigung hat ein zusätzliches Pilotprojekt in Angriff genommen: Es werden insgesamt sechs Müllwagen mit den vier verschiedenen umweltfreundlichen Antriebssystemen Erdgas, Brennstoffzellen, Hydraulikhybrid und Elektrohybrid getestet. Des Weiteren ist die Umstellung aller Müllwagen auf Euro-V-Norm bzw. BlueTec geplant.

Der Senat hat darüber hinaus die zuständigen Behörden beauftragt, die Markteinführung von alternativen Antrieben zu unterstützen und voranzutreiben, und jährlich 25 Mio. Euro zur Förderung neuer Ideen und Projekte bereitgestellt. Als privatwirtschaftliche Initiative planen RWE und Vattenfall die Installation von 50 Ladestationen für Elektroautos in Hamburg. Damit dürften sich die infrastrukturellen Bedingungen für die zumindest regionale Durchsetzung der Elektromobilität im Stadtverkehr erheblich verbessern.

Kasten 4

²⁵ Vgl. Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg (2008); Ecomobility.org (2006); EU Mayors (2009); Hamburger Hochbahn (2009a); ICLEI (2009); Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg (2009); Maaß (2009); Schmoock, M. (2005).

3. Zukunft der Mobilität – Mobilität der Zukunft

3.1 Nachhaltige Mobilität

Bis zum Jahr 2050 wird sich der globale Energiebedarf verdoppeln.²⁶ Gleichzeitig müssen bis dahin die weltweiten CO₂-Emissionen gegenüber dem Stand von 1990 halbiert werden, um das Klimaziel von maximal zwei Grad Celsius Erderwärmung zu erreichen. Vor dem Hintergrund, dass fossile Energieträger endlich sind und zugleich viel CO₂ emittieren, müssen verstärkt erneuerbare und saubere Energiequellen als Alternative zu fossiler Energie erschlossen, nutzbar und wettbewerbsfähig gemacht werden. Dadurch lässt sich auch die Importabhängigkeit bei der Energieversorgung reduzieren. Eine klimafreundliche, sichere und zugleich preisgünstige Versorgung mit Energie ist das zentrale Ziel einer nachhaltigen Energie- und Klimapolitik. Insbesondere der Verkehrssektor muss aufgrund der weltweit stark wachsenden Mobilität hierzu einen Beitrag leisten. Gegenwärtig kommen im Verkehr fast ausschließlich fossile Kraftstoffe zum Einsatz. In Deutschland betrug im Jahr 2006 der Anteil des Verkehrs an den gesamten CO₂-Emissionen rund 20% (vgl. Abbildung 9).

Der Europäische Rat hat sich das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemission in der EU bis 2020 um 20% zu verringern. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine erhebliche Reduktion der CO₂-Emissionen im Verkehr notwendig. In der EU ist nach einer freiwilligen Vereinbarung zwischen der Europäischen Kommission und der Automobilindustrie der CO₂-Ausstoß neu zugelassener Autos mit Dieselmotoren zwischen 1995 und 2004 um 12,3% gesunken, jener mit Ottomotoren um 9,5%. Im Jahr 1995 betrug die CO₂-Emissionen 186 g/km. Im Jahr 2003 sanken diese auf 164 g/km; dies entspricht einer Reduzierung von 12%. Jedoch ist damit das Ziel der Europäischen Kommission von 120 g/km für 2009 noch nicht erreicht. Ferner sind durch EU-Rechtsvorschriften, die geringere Grenzwerte für Neufahrzeuge festlegen, in den letzten 17 Jahren die Stickoxid- und Partikelemissionen um 30 bis 40% gesunken.²⁷

²⁶ Nach Prognose der Internationalen Energieagentur (vgl. IEA [2008a]).
²⁷ Vgl. European Environment Agency (2006).

CO₂-Emissionen in Deutschland nach Sektoren, 2006

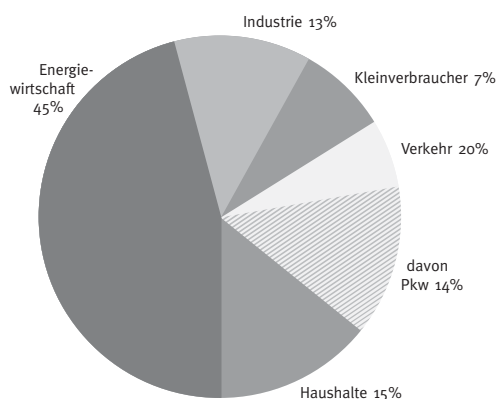


Abb. 9

Quellen: Shell (2009); HWWI.

Das Klimaschutzprogramm und die nationale Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung haben im Einklang mit europäischer Gesetzgebung bereits erste Ziele und Maßnahmen für eine nachhaltige Mobilität festgelegt. In den »G8 Climate Scorecards«, die die nationalen Maßnahmen zur Reduzierung des Klimawandels der G8-Staaten bewerten, ist Deutschland im Jahr 2009 auf dem ersten Platz.²⁸ Das Umweltbundesamt (UBA) hat es sich als Ziel gesetzt, die durch den Verkehr verursachten CO₂-Emissionen bis 2030 um 50 % gegenüber 1990 zu verringern sowie die Lärmbelastung in Wohngebieten auf 65 dB(A) am Tag und auf 55 dB(A) in der Nacht zu begrenzen. Die nationale Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung sieht weiterhin eine Reduzierung des Flächenverbrauchs für Verkehrszwecke von heute 130 ha/Tag auf 30 ha/Tag im Jahr 2020 vor. Insbesondere im Straßenverkehr konnten durch niedrige Grenzwerte und moderne Antriebstechniken sowie ökonomische Anreize wie die ökologische Steuerreform bereits Fortschritte erzielt werden. Der Ausstoß von Kohlenmonoxid (CO) sank um 78 %, von Stickoxiden (NOX) um 54 %, von flüchtigen organischen Verbindungen (NMVOC) um 90 % und von Partikeln (PM) um knapp 20 %.²⁹

Für das Modellvorhaben »Mensch – Stadt – Verkehr – Umwelt. Kommunale Agenda 21 – Nachhaltige Mobilität« des Umweltbundesamtes wurden in sieben Zielbereichen Qualitätsziele und Indikatoren aufgestellt, die langfristig zu einer umweltgerechten Mobilität führen sollen und deren Anwendbarkeit in drei Modellstädten – Erfurt, Görlitz und Lörrach – getestet wurde. Tabelle 5 verdeutlicht, dass die umweltverträgliche Verkehrsmittelwahl, die sich unter anderem durch ein erhöhtes Zufußgehen und Fahrradfahren sowie eine verstärkte Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel auszeichnet, und die Minderung negativer externer Effekte zu den Prioritäten einer nachhaltigen Entwicklung zählen.

Mit Blick auf die Zukunft wäre es anzustreben, Politikmaßnahmen so auszugestalten, dass Anreize für technologische Innovationen gesetzt werden, die für eine künftig nachhaltigere Mobilität wichtig sind. Es gilt, die Nutzung erneuerbarer Energien auch für den Verkehr technologisch zu erschließen, Substitutionsmöglichkeiten zu fossilen Kraftstoffen zu schaffen und entsprechende ökonomische Anreize zur Entwicklung und Nutzung von Innovationen zu setzen.

Im Folgenden werden zunächst Stand und Perspektiven der konventionellen und der alternativen Antriebstechnologien und Kraftstoffe dargestellt. Anschließend werden wirtschaftspolitische Handlungsoptionen aufgezeigt.

²⁸ Vgl. Höhne et al. (2009).

²⁹ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009).

Bereiche und Ziele einer nachhaltigen Mobilität

Zielbereich	Qualitätsziel
1. Umweltverträgliche Verkehrsmittelwahl	1.1 Möglichst hoher Anteil der täglichen Wege im Umweltverbund
2. Sicherung und Förderung des Zu-Fuß-Gehens	2.1 Dichtes und funktional ausreichendes Fußwegenetz 2.2 Hohe Aufenthaltsqualität des öffentlichen Raums 2.3 Fußgängerfreundliches Klima
3. Sicherung und Förderung des Radverkehrs	3.1 Dichtes und sicheres Radverkehrsnetz 3.2 Sicherung der Erreichbarkeit städtischer Ziele im Radverkehr 3.3 Fahrradfreundliches Klima
4. Förderung des Öffentlichen Personennahverkehrs	4.1 Gute räumliche und zeitliche Verfügbarkeit öffentlicher Verkehrsmittel in Stadt und Region 4.2 Konkurrenzfähigkeit der öffentlichen Verkehrsmittel gegenüber dem motorisierten Individualverkehr (MIV) 4.3 Gute Erreichbarkeit und attraktive Gestaltung von Haltestellen des öffentlichen Verkehrs 4.4 ÖPNV-freundliches Klima
5. Sicherung des notwendigen motorisierten Individualverkehrs	5.1 Flüssiger Verkehr auf Hauptverkehrsstraßen bei niedrigem Geschwindigkeitsniveau 5.2 Flächenhafte Verkehrsberuhigung in den Wohngebieten 5.3 Sicherung der Erreichbarkeit städtischer Ziele im MIV
6. Gesundheitsschutz und Ressourcenschonung	6.1 Keine Gesundheitsgefährdungen und Schlafstörungen durch Verkehrslärm 6.2 Keine Gesundheitsgefährdungen durch verkehrsbedingte Luftschadstoffe 6.3 Keine getöteten und schwer verletzten Personen im Straßenverkehr 6.4 Beschränkung der vorhandenen Verkehrsflächen auf ein notwendiges Maß 6.5 Sparsamer Energieverbrauch und verstärkte Nutzung regenerativer Energien im motorisierten Verkehr
7. Nachhaltige Planung, Beteiligung und Information	7.1 Integrierte kommunale Planung unter Berücksichtigung der engen Zusammenhänge zwischen Stadtentwicklung, Verkehrsentwicklung und Umweltqualität 7.2 Festschreibung von umweltverträglichen Bau- und Verkehrskonzepten in den Bebauungsplänen 7.3 Regelmäßige Überprüfung der umgesetzten Siedlungs- und Verkehrskonzepte und Maßnahmen hinsichtlich der Zielerreichung in Bezug auf die festgelegten Handlungsziele 7.4 Angemessene Beteiligung der Bevölkerung an Planungen und bei der Entscheidungsfindung 7.5 Aktive Unterstützung und Förderung der Lokalen Agenda 21 – Aktivitäten durch die Kommunalverwaltung 7.6 Eröffnung eines freien Zugangs zu wichtigen kommunalen Daten für alle interessierten Einwohner

Tab. 5

Quellen: Schäfer (2005); HWWI.

3.2. Alternative Antriebstechnologien und Kraftstoffe

3.2.1 Entwicklung bei konventionellen Antrieben und Kraftstoffen

Derzeit sind konventionelle Antriebstechnologien und Kraftstoffe noch bei Weitem dominierend (vgl. Abbildung 10). Fast der komplette Pkw-Bestand war im Jahr 2008 mit Otto- und Dieselmotoren ausgerüstet. Lediglich 0,6% aller Pkws fahren mit alternativen Antrieben und Kraftstoffen, darunter überwiegend mit Flüssig- und Erdgas, nur wenige waren mit Hybrid- oder reinen Elektroantrieben ausgestattet.

Durch die Weiterentwicklung der konventionellen Antriebstechnologien (Otto- und Dieselmotoren) und Kraftstoffe (Benzin und Diesel) konnte die Motorleistung gesteigert und der Wirkungsgrad erhöht und dadurch der Kraftstoffverbrauch gesenkt werden genauso wie durch einen verringerten Luftwiderstand und ein angepasstes Fahrverhalten. Auch durch Beimischung von Biokraftstoffen zu fossilen Kraftstoffen können die CO₂-Emissionen gesenkt werden. Für ältere Motoren ist der Beimischung von Biokraftstoffen jedoch eine Grenze gesetzt, da Motorschäden als Folge zu hoher Beimischungsanteile auftreten können. Ihr Vorteil gegenüber vielen alternativen Technologien ist allerdings, dass ohne große Zusatzinvestitionen die konventionellen Motoren, für die eine ausgebaute Infrastruktur schon besteht, weiter genutzt werden können.

Experten aus Forschung und Entwicklung in der Automobilindustrie gehen derzeit davon aus, dass das Optimierungspotenzial bei Verbrennungsmotoren noch lange nicht ausgeschöpft ist. Vor diesem Hintergrund haben viele Automobilhersteller die Etats für Forschung und Entwicklung bei konventionellen Antriebstechnologien erhöht. Wesentliche Ansatzpunkte zur Reduzierung des Verbrauchs sind die Einspritztechnik, die Turboaufladung, das Fahrzeuggewicht sowie elektronische Nebenaggregate wie zum Beispiel die Getriebesteuerung.³⁰ Darüber hinaus können verschie-

³⁰ Vgl. o. V. (2009).

Pkw-Bestand nach Antriebs- und Kraftstoffart, 2008

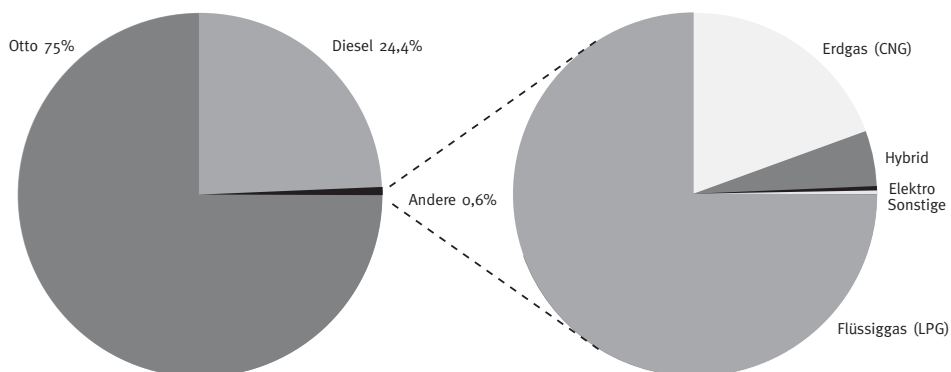


Abb. 10

Quellen: KBA (2009); HWWI.

dene Innovationen zur Erhöhung der Energieeffizienz beitragen. Ein bekanntes Beispiel ist die Bremsenergieerückgewinnung, das sogenannte KERS (Kinetic Energy Recovery System), bei dem die Bremsenergie gespeichert und in der Beschleunigungsphase wieder abgegeben wird. Gerade im Stadtverkehr mit häufigem Bremsen und Beschleunigen kann diese Technologie effizient eingesetzt werden. Am 26. Juli 2009 gab es in der Formel 1 beim Grand Prix in Ungarn mit Lewis Hamilton im McLaren-Mercedes den ersten Sieger mit dieser Technologie.

3.2.2 Biokraftstoffe

Die EU hat in ihrer Biokraftstoff-Richtlinie beschlossen, den Einsatz von Biokraftstoffen zu fördern. So soll ihr Anteil bis zum Jahre 2020 am gesamten Kraftstoffverbrauch – gemessen am Energiegehalt, nicht am Volumen – 10% betragen. Um dieses gemeinsame Ziel der EU-Staaten zu erreichen, hat Deutschland Biokraftstoffquoten festgelegt, die in mehreren Schritten bis zum Jahre 2020 ansteigen.³¹ Die weltweite Biokraftstoffnachfrage erreichte im Jahre 2007 34 Mtoe (Mio. t Öläquivalent) und hat sich damit im Vergleich zum Jahre 2000, als sie bei 10,3 Mtoe lag, mehr als verdreifacht.³² Von dem verstärkten Einsatz von Biokraftstoffen versprechen sich die politischen Entscheidungsträger, eine Reduzierung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor zu erzielen und darüber hinaus die Abhängigkeit von Rohöl zu mindern. Letzteres wird mit der Abnahme an Ölreserven künftig immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Der Vorteil von Biokraftstoff gegenüber fossilem Kraftstoff liegt darin, dass bei seiner Verbrennung nur so viel CO₂ ausgestoßen wird, wie zuvor von der Pflanze aus der Luft aufgenommen wurde. Jedoch ist Biokraftstoff nicht gleich Biokraftstoff, sondern es gibt verschiedene Möglichkeiten, ihn herzustellen. Es wird unterschieden zwischen den Biokraftstoffen der ersten und der zweiten Generation. Während die Biokraftstoffe der ersten Generation aus Pflanzenfrüchten wie beispielsweise Mais, Getreide, Raps, Soja oder Kokosnussöl hergestellt werden, werden die Biokraftstoffe der zweiten Generation aus Pflanzenresten oder schnell wachsenden Gräsern beziehungsweise Hölzern gewonnen.³³

Als Problem von Biokraftstoffen der ersten Generation wird eine mögliche Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion gesehen. Die starken Preissteigerungen von Nahrungsmitteln bis Mitte des Jahres 2008 wurden zum Teil auf die verstärkte Produktion von Biokraftstoffen zurückgeführt. Gerade die ärmsten Länder sind von gestiegenen Nahrungsmittelpreisen besonders betroffen, weil die Menschen dort einen vergleichsweise großen Anteil ihres Einkommens für Nahrungsmittel ausgeben. Auf der anderen Seite könnte die Herstellung von Biokraftstoffen für diese Länder auch Einkommenschancen bieten. Aber es sollte in Zukunft vermieden werden, Agrarland, das für die weltweite Nahrungsmittelversorgung von Bedeutung ist, für die Biokraftstoffproduktion zu nutzen. Wird diese Umwidmung verhindert, so gibt es künftig Potenzial, das Nahrungsmittelangebot merklich zu steigern. Einen Beitrag hierzu leisten Bodenpotenziale für Agrarflächen, die Verbesserung der Wasserverfügbarkeit und mögliche Produktivitätsanstiege.³⁴

31 Vgl. Deutscher Bundestag (2008); Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union (2009); Europäische Kommission (2008).

32 Vgl. IEA (2008a); IEA (2008b).

33 Vgl. Bräuninger et al. (2006).

34 Vgl. FAO (2009).

In der Vergangenheit kam es neben der Nahrungsmittelkonkurrenz zu dem Problem, dass für die Erzeugung von Biokraftstoff in tropischen Regionen Urwälder abgeholzt wurden, die besonders viel CO₂ aufnehmen und einspeichern können. Um die Zerstörung der Urwälder durch den Anbau von Energiepflanzen zur Produktion von Biokraftstoffen zu verhindern, wurden international Zertifizierungsverfahren entwickelt, die eine Nachhaltigkeit des entsprechenden Biokraftstoffes garantieren sollen. Die Umsetzung einer solchen Zertifizierung ist jedoch schwierig, weil die Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien überwacht werden muss. Möglicherweise könnten Felder für die Nahrungsmittelproduktion in Plantagen für Energiepflanzen zur Gewinnung von Biokraftstoffen umgewidmet werden, während für neue Nahrungsmittelfelder dann Urwald gerodet würde. Durch diesen Dominoeffekt bei der Landnutzungsänderung könnte die fehlende Nachhaltigkeit des Biokraftstoffes verschleiert werden.³⁵

Bei der Beurteilung der CO₂-Bilanz eines Biokraftstoffes muss seine komplette Produktionskette betrachtet werden: Diese verläuft vom Anbau der Energiepflanze über die Herstellung des Biokraftstoffes bis hin zu seiner Verbrennung im Motor. In der folgenden Abbildung sind für verschiedene Biokraftstoffe die CO₂-Bilanzen aufgeführt. Als Referenzwert gilt fossiler Kraftstoff (100%).

In die Berechnung der CO₂-Einsparungen fließt mit ein, dass bei der Herstellung des entsprechenden Biokraftstoffes Nebenprodukte anfallen, die anderweitig verwendet werden können, beispielsweise als Tierfutter. Damit wird der CO₂-Ausstoß anteilig auf den Biokraftstoff und das Tierfutter aufgeteilt. Gleiches gilt auch, wenn die bei der Produktion des Biokraftstoffes entstandene Wärme anderweitig genutzt wird. Zudem ist in die Berechnung der Düngereinsatz für die Energiepflanzen, aus denen der Biokraftstoff gewonnen wurde, mit eingegangen. Bei der Düngung kann Stickstoffdioxid (N₂O) freigesetzt werden, das mehr als 300-mal so stark zum Treibhauseffekt beiträgt wie CO₂.³⁶

³⁵ Vgl. Bräuninger et al. (2007); Gallagher (2008).
³⁶ Vgl. Eucar et al. (2007a).

Biokraftstoffe und ihre CO₂-Bilanz

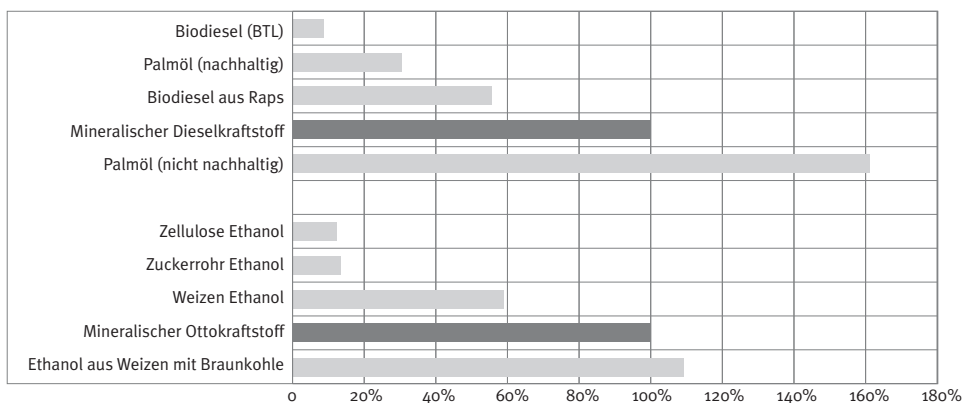


Abb. 11

Quellen: Eucar et al. (2007a); Institut für Energie- und Umweltforschung (2008); HWWI.

Die Abbildung 11 zeigt, dass Biokraftstoffe sogar eine schlechtere CO₂-Bilanz aufweisen können als fossiler Kraftstoff. Dies ist beispielsweise der Fall bei Ethanol aus Weizen, das mit Braunkohle produziert wurde, oder bei nicht nachhaltigem Palmöl, für das Urwälder vernichtet wurden. Dagegen haben nachhaltiges Palmöl und insbesondere Ethanol aus Zuckerrohr ein erhebliches CO₂-Reduktionspotenzial gegenüber fossilem Kraftstoff. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, sind es gerade die Biokraftstoffe der zweiten Generation, die die CO₂-Emissionen am stärksten reduzieren. Diese Biokraftstoffe haben auch den Vorteil, dass sie im Gegensatz zu denen der ersten Generation nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion stehen, weil sie aus Pflanzenresten oder aus schnell wachsenden Gräsern beziehungsweise Hölzern, die auf für die Landwirtschaft ungeeigneten Böden wachsen, hergestellt werden können.

In den nächsten Jahren besteht bei den Biokraftstoffen der zweiten Generation noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um sie in großen Mengen technisch herstellen zu können. Dabei wird mit Blick auf die Zukunft in verschiedenen Bereichen geforscht. So könnten biotechnisch veränderte Pilze und Bakterien zur Herstellung von Biokraftstoffen entwickelt werden. Bioethanol kann mithilfe von Hefepilzen produziert werden, die auch in einer Alkoholbrauerei zum Einsatz kommen. Jedoch verarbeiten diese Mikroorganismen nur Zuckermoleküle, dagegen bleiben Zellulose und Lignin der Pflanze wegen der speziellen Verknüpfung ihrer Zuckerbausteine ungenutzt. Die Forschung geht nun in die Richtung, gentechnisch den Stoffwechsel dieser Mikroorganismen so zu verändern, dass sie die Biomasse effizienter in Bioethanol umwandeln können.³⁷ Einzelne Biotech-Unternehmen haben technische Verfahren entwickelt, die mithilfe von Enzymen – Proteine, die biochemische Reaktionen steuern können – Biomasse in Zelluloseethanol umwandeln. Die aufbereiteten Pflanzenfasern werden durch die Enzyme in Zucker transformiert, der dann zu Bioethanol vergoren wird.³⁸

Zudem wurde ein Verfahren zur Herstellung von synthetischem Biodiesel entwickelt, bei dem aus Biomasse ein Synthesegas erzeugt wird, durch welches mithilfe der Fischer-Tropsch-Synthese der sogenannte Biomass-to-Liquid(BTL)-Diesel gewonnen wird. An einem Katalysator reagiert das Synthesegas und es entstehen flüssige Kohlenwasserstoffe, die dann als synthetischer Kraftstoff genutzt werden.³⁹ In Laboren wird untersucht, wie sich mit genetisch veränderten Kolibakterien, die zusammen mit Enzymen reagieren, ein Biokraftstoff herstellen lässt, der dem Biodiesel sehr nahe ist.⁴⁰ Hier besteht jedoch noch ein enormer Forschungsbedarf, genauso wie bei den Biokraftstoffen aus Algen (vgl. Kasten 5).

37 Vgl. Institute of Molecular Biosciences der Goethe Universität Frankfurt am Main (2009); Boeing (2009).

38 Vgl. Iogen (2009); Verenum (2009).

39 Vgl. Choren (2009).

40 Vgl. Boeing (2009); Institute of Molecular Systems Biology der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

Biokraftstoff aus Algen

Im Bereich der Biokraftstoffe der zweiten Generation wird erforscht, wie sich aus Algen Biokraftstoff gewinnen lässt. Algen bringen Vorteile mit sich, weil sich aus ihnen 15-mal so viel Ertrag per Hektar an Pflanzenöl erzielen lässt wie bei der Herstellung von Biokraftstoffen aus Raps, Palmöl oder Soja. Einige Algenarten, die sowohl im Süß- als auch im Salzwasser wachsen können, vergrößern sich pro Tag um das Drei- oder sogar Vierfache und können damit im Gegensatz zu Pflanzenfrüchten mehrmals im Jahr geerntet werden. Außerdem können die Anlagen für den Anbau von Algen in Regionen installiert werden, die für den Ackerbau unbrauchbar sind – wie beispielsweise Wüsten. Um das Verfahren zukunftsfähig zu machen, müsste die Ernte der Algen noch effizienter in großem Volumen erfolgen, und der beste Weg zur Gewinnung des Pflanzenöls ist zu identifizieren. Es gibt zwei Möglichkeiten, die Algen anzubauen: Zum einen können die Algen mit Wasser durch lichtdurchlässige Rohre und Schläuche gepumpt werden – durch Hinzufügen von CO₂ wachsen die Algen. Der Nachteil einer solchen geschlossenen Anlage besteht jedoch darin, dass sie sehr teuer ist, weil mehrere Kilometer an Rohren erforderlich wären, um große Mengen an Öl zu gewinnen. Schätzungen gehen davon aus, dass eine solche Anlage erst ab einem Barrelpreis von 600 US-Dollar wettbewerbsfähig wäre. Ein weiteres Verfahren wäre der Anbau der Algen in großen Wasserbecken. Solche offenen Systeme sind zwar wesentlich preiswerter, aber nur die Algen an der Wasseroberfläche bekommen Licht, das Wasser verdampft, und es besteht eine große Gefahr von Verunreinigungen, beispielsweise durch shrimpsähnliche Organismen, die die Algen zerstören. Weitere Herausforderungen im Bereich der Forschung und Entwicklung liegen zudem im Bereich der Gewinnung des Pflanzenöls, das entweder aus den getrockneten Algen herausgepresst oder durch das Hinzugeben von Chemikalien gewonnen wird. Das Pflanzenöl muss aber noch weiter behandelt werden, damit es für die Motoren verträglicher ist und nicht bei niedrigen Temperaturen zu Klumpen anfängt oder Gummiteile beschädigt.⁴¹

Kasten 5

41 Vgl. Max-Planck-Institut (2006); Broere (2008).

3.2.3 Elektroautos und Batterie

Die Bundesregierung hat neben der Förderung von Biokraftstoffen auch beschlossen, die Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektroautos zu unterstützen. Hierfür ist im Jahre 2009 der »Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität« verabschiedet worden. In dem Plan ist vorgesehen, die Entwicklung und Markteinführung von Elektrofahrzeugen voranzutreiben und ihren Bestand bis zum Jahre 2020 auf eine Million Fahrzeuge zu erhöhen. Bis zum Jahre 2030 wird ein Anstieg auf 5 Mio. Fahrzeuge angestrebt. Ende August 2009 ist das Förderprogramm »Modellregionen Elektromobilität« der Bundesregierung angelaufen, das mit 500 Mio. Euro aus dem Konjunkturpaket II ausgestattet wurde. In acht deutschen Regionen, darunter auch Hamburg und Berlin/Potsdam, soll der Aufbau und der Betrieb einer Infrastruktur für Elektrofahrzeuge erprobt werden.⁴²

42 Vgl. Deutsche Bundesregierung (2008); Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2009).

Durch den vermehrten Einsatz von Elektrofahrzeugen können die Abhängigkeit von Rohöl verringert und zugleich die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor gesenkt werden. Darüber hinaus zielt die Bundesregierung mit ihrer Förderung der Elektrofahrzeuge darauf ab, die Elektromobilität als ein für die Zukunft bedeutendes Technologiefeld zu besetzen. Die Batterien der Elektrofahrzeuge lassen sich über das Stromnetz aufladen und haben den Vorteil, dass sie beim Fahren keine Emissionen ausstoßen und leise sind. Damit können sie Smog und Lärmbelastigungen in Städten reduzieren. Außerdem zeichnen sich die Elektromotoren durch einen höheren Wirkungsgrad aus als Diesel- und Ottomotoren.

Mit Blick auf die CO₂-Bilanz der Elektrofahrzeuge ist es von zentraler Bedeutung, wie der Strom hergestellt wurde, mit dem sie betrieben werden. Die CO₂-Bilanz lässt sich unterteilen in »Well to Tank« und »Tank to Wheels«. Während »Tank to Wheels« alle Emissionen umfasst, die vom Fahrzeug ausgestoßen werden – beim Elektrofahrzeug sind sie gleich null –, werden beim »Well to Tank« alle CO₂-Emissionen aufaddiert, die bis hin zum Tankvorgang entstehen. Bezieht das Elektrofahrzeug ausschließlich aus erneuerbaren Energien produzierten Strom, so fährt es CO₂-neutral. Wird jedoch Strom aus Kohlekraftwerken eingesetzt, sieht das CO₂-Minderungspotenzial im Vergleich zu fossilem Kraftstoff schon wesentlich schlechter aus (vgl. Abbildung 12).

Wie der Abbildung zu entnehmen ist, haben Elektrofahrzeuge, die mit Strom aus Steinkohle angetrieben werden, sogar eine schlechtere CO₂-Bilanz als mit fossilen Kraftstoffen betriebene Pkws. Würde die Antriebsenergie der Fahrzeuge aus dem deutschen Strommix 2008 bezogen werden, so würde der CO₂-Ausstoß je km nur noch knapp 70% im Vergleich zu fossilem Benzin betragen. Die mit Abstand beste CO₂-Bilanz weisen Elektrofahrzeuge mit Strom aus ausschließlich erneuerbaren Energien auf. Hier liegen die CO₂-Werte nahezu bei null je 100 km.

Stromquellen für Elektrofahrzeuge

g CO₂/km

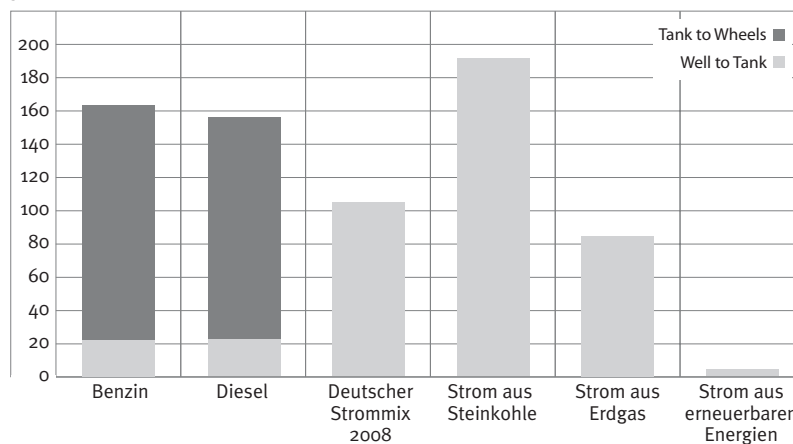


Abb. 12

Quellen: Eucar et al. (2007a); Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2009); Fritsche (2007); Berechnungen HWWI.

Ein wesentlicher Nachteil bei der Nutzung von Elektrofahrzeugen ist bisher, dass die Reichweite der Elektrofahrzeuge aufgrund der geringen Ladekapazitäten der Batterien noch begrenzt ist. Zudem sind die Leistungsreserven eines Elektrofahrzeuges geringer als bei einem Pkw mit Verbrennungsmotor. Damit ist es ungeeigneter für Lasttransporte, und seine Leistungsgrenze macht sich insbesondere bei Bergfahrten bemerkbar.⁴³

Die zukünftige Verbreitung der Elektrofahrzeuge wird stark davon abhängen, inwieweit es gelingt, die Batterietechnik weiterzuentwickeln und für sie eine Infrastruktur für das Aufladen beziehungsweise Austauschen der Batterien zu schaffen. Bei der aktuellen Forschung im Bereich der Batterietechnik steht im Vordergrund, die Haltbarkeit, Aufladezeit und Speicherkapazität der Batterien zu verbessern und ihre Herstellungskosten zu reduzieren. Gerade die Entwicklung der Lithium-Ionen-Batterien verspricht hier Fortschritte (vgl. Teil B, Kapitel 3.2).

3.2.4 Hybridelektrofahrzeuge

Möglicherweise kann sich das reine Elektrofahrzeug als die Antriebstechnologie des Autos der Zukunft durchsetzen. Bis dahin könnte aber der Hybridmotor als Brückentechnologie dienen. Langfristig wären zwei Antriebssysteme in einem Fahrzeug jedoch zu komplex, zu schwer und zu ineffizient.

Hybridelektrofahrzeuge beziehen in der Regel zum einen ihre Energie von einem Verbrennungsmotor und zum anderen von einem Elektromotor, der von einer Batterie angetrieben wird. Die verschiedenen Formen des Hybridantriebs lassen sich nach ihrem Hybridisierungsgrad unterscheiden. Der *Mikrohybrid* erhält genügend Strom zum Anfahren und die Starterbatterie kann während der Fahrt durch Rückgewinnung von Bremsenergie wieder aufgeladen werden. Mit dem *Mildhybrid* steigt der Hybridisierungsgrad, weil bei ihm der Elektroantrieb zur Leistungs- oder zur Effizienzsteigerung eingesetzt wird. Bei einem *Vollhybrid* ist es dagegen grundsätzlich möglich, das Fahrzeug ohne die Hilfe eines Verbrennungsmotors anzutreiben. Je größer die Bedeutung des elektrischen Antriebs im Fahrzeug ist, desto näher rückt das Hybridfahrzeug an ein Elektrofahrzeug heran. Dies ist insbesondere der Fall bei Plug-in-Hybriden, deren Reichweite durch einen Verbrennungsmotor (Range Extender) vergrößert wird. Das kann auf zwei verschiedene Arten geschehen: Entweder treibt der Verbrennungsmotor den Antriebsstrang des Pkw direkt an oder er hilft dabei, die Batterie aufzuladen, die den Elektromotor mit Energie versorgt.

Mit einem Plug-in-Hybrid-Fahrzeug, dessen Batterie eine Reichweite von 40 km besitzt, könnte mehr als die Hälfte der jährlichen Fahrleistung eines durchschnittlichen Pkw-Fahrers rein elektrisch zurückgelegt werden. Ein durchschnittlicher Pkw-Fahrer legt im Jahresverlauf etwa 80 % der Tage weniger als 40 km zurück. Für längere Fahrten stünde der Verbrennungsmotor zur Verfügung.⁴⁴

⁴³ ECS (2009).

⁴⁴ Vgl. Pehnt et al. (2007).

3.2.5 Wasserstoff und Brennstoffzelle

Neben den USA, Kanada und Japan unterstützen auch Deutschland und die EU die Forschung und Entwicklung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Deutschland hat ein Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) entworfen, in dem Projekte gemeinsam mit der Industrie vorgesehen sind. Beide Seiten stellen dabei 700 Mio. Euro über einen Zeitraum von sieben Jahren zur Verfügung.⁴⁵ Auf der Ebene der EU wurde eine Technologieplattform mit Unterstützung der Europäischen Kommission aufgebaut. Ihr Ziel ist es, einen Informationsaustausch zur Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie zwischen Politik, Wissenschaft und Industrie zu ermöglichen.

Der Wasserstoff als Kraftstoff hat den Vorteil, dass am Fahrzeug selber keine Emissionen auftreten. Es entweicht lediglich Wasserdampf. Zudem hat die Brennstoffzelle einen höheren Wirkungsgrad als ein Verbrennungsmotor, da bei der Umwandlung von Wasserstoff und Sauerstoff in Wasserdampf ein chemischer Prozess abläuft, bei dem Energie nicht in mechanische Kraft transformiert werden muss. Während die Brennstoffzelle mit Elektromotor einen Wirkungsgrad von ca. 60 % hat, kommt ein Verbrennungsmotor auf gut 30 %. Weil darüber hinaus Wasserstoff das Element ist, das in der Natur am häufigsten vorkommt und damit ausreichend zur Verfügung stünde, verspricht die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, die CO₂-Emissionen im Straßenverkehr zu reduzieren und für die Zukunft die Versorgung mit Energie sicherzustellen.

Doch genauso wie bei Elektrofahrzeugen kann die Wasserstofftechnologie auch nur dann einen Beitrag zur Umweltentlastung leisten, wenn der Wasserstoff mithilfe von erneuerbaren Energien erzeugt wurde. Wasserstoff ist in reiner Form nicht in der Natur vorhanden, sondern muss aus Wasser per Elektrolyse oder mithilfe einer Gasreformierung gewonnen werden. Während die Elektrolyse zurzeit noch ein sehr energieintensives Verfahren darstellt, wird bei der Gasreformierung Erdgas eingesetzt, das mit Blick auf die Zukunft nicht unendlich zur Verfügung steht und zudem CO₂-Emissionen verursacht. Der überwiegende Teil des aktuell hergestellten Wasserstoffs entsteht aus Gas. Damit das CO₂ nicht in die Erdatmosphäre gelangt, gibt es auch Untersuchungen zum sogenannten Carbon-Capture-and-Storage(CCS)-Verfahren, bei dem das CO₂ in den Erdboden hineingepumpt und dort gelagert wird.⁴⁶

Eine Möglichkeit, den Wasserstoff via Elektrolyse CO₂-arm zu gewinnen, wäre die Nutzung von Windenergie. Unterschiedliche Windintensitäten führen bei der Stromerzeugung aus Windenergie zu großen Schwankungsbreiten. Aufgrund von Spitzenlasten bei starkem Wind werden die Windanlagen vom Stromnetz genommen. Um die überschüssige Windenergie dennoch nutzbar zu machen, könnte aus ihr Wasserstoff erzeugt werden, der dann als Zwischenspeicher fungiert. Damit wäre es möglich, die Energieerzeugung und ihre Verwendung zeitlich zu entkoppeln.⁴⁷ Dagegen käme grundlastfähiger Strom aus erneuerbaren Energien wie Wasserkraft, Biomasse oder Geothermie aus Effizienzgesichtspunkten weniger für die Produktion von Wasserstoff in Betracht.⁴⁸

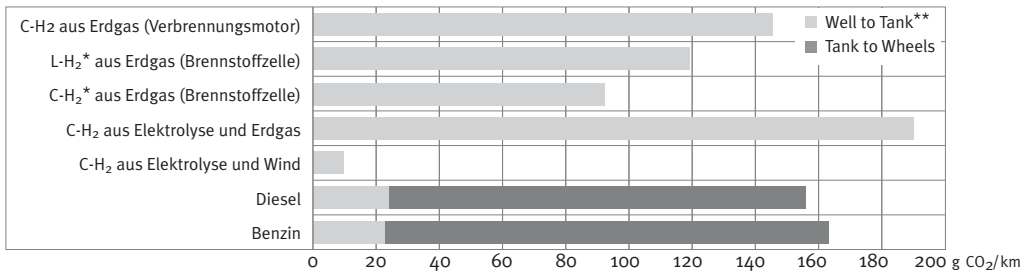
⁴⁵ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2006).

⁴⁶ Vgl. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (2007).

⁴⁷ Vgl. Leschus/Vöpel (2008).

⁴⁸ Vgl. Umweltbundesamt (2009); Eucar et al. (2007a); Eucar et al. (2007b).

CO₂-Bilanz von Wasserstoff nach Herstellungsweise und Antriebstechnik



*L-H₂ = Verflüssigter Wasserstoff
 C-H₂ = Komprimierter Wasserstoff

** Well to Tank = alle CO₂-Emissionen, die bis hin zur Betankung des Pkw anfallen
 Tank to Wheels = alle CO₂-Emissionen vom Pkw

Abb. 13

Quellen: Eucar et al. (2007a); Eucar et al. (2007b); HWWI.

Wasserstoff als Gas mit der geringsten Energiedichte muss für seine Speicherung komprimiert werden. Nach dem aktuellen Stand der Technik gibt es hierfür zwei Verfahren: Zum einen kann das Volumen des Wasserstoffes unter hohem Druck reduziert werden oder der Wasserstoff wird bei -253 °C verflüssigt. Der verflüssigte Wasserstoff hat gegenüber dem gasförmig komprimierten den Vorteil, dass er weniger Speicherplatz benötigt. Dies macht ihn geeignet für den Einsatz im Fahrzeugbereich. Jedoch wird bei der Verflüssigung je nach Verfahren mit 20 bis 40 % ein beträchtlicher Anteil der im Wasserstoff enthaltenen Energie verbraucht, während der Energieverlust bei der Komprimierung unter 10 % liegt.⁴⁹ Bei der Bewertung der Energie- beziehungsweise CO₂-Bilanz spielt es daher eine wichtige Rolle, mit welchem Verfahren der Wasserstoff hergestellt und welches Verfahren für seine Speicherung verwendet wurde (vgl. Abbildung 13).

Der größte Anteil der CO₂-Emissionen bei der Well-to-Tank-Betrachtung von Wasserstoff entsteht bei seiner Produktion und Speicherung. Die CO₂-Bilanz von komprimiertem Wasserstoff, der mit Windenergie und dem Elektrolyseverfahren hergestellt wurde, weist den niedrigsten Wert auf. Dagegen ist die CO₂-Bilanz von komprimiertem Wasserstoff, produziert mithilfe der Elektrolyse und Erdgas als Energielieferant, sogar schlechter als die von fossilem Benzin und Diesel. Gegenüber fossilem Benzin werden bei Wasserstoff aus Erdgasreformierung über die komplette »Supply Chain« – also »Well to Tank« plus »Tank to Wheels« – nur knapp 57 % der CO₂-Emissionen ausgestoßen. Bei der Berechnung wird dabei unterstellt, dass das Erdgas aus 4 000 km Entfernung außerhalb der EU angeliefert und in einer Großanlage hergestellt wurde. Bei einer Verflüssigung des Wasserstoffes verschlechtert sich die CO₂-Bilanz wesentlich aufgrund des hierfür erforderlichen Energieeinsatzes. Dies ist auch der Fall, wenn der Wasserstoff anstatt in einer Brennstoffzelle in einem Verbrennungsmotor eingesetzt wird.

Während der Ausbauphase der Infrastruktur – wie bei den Elektrofahrzeugen wäre auch für die Fahrzeuge mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie ein Infrastrukturaufbau erforderlich –

49 Vgl. Leschus/Vöpel (2008).

Silicon Valley

Im südlich von San Francisco gelegenen Silicon Valley haben alternative Transportmittel einen schweren Stand. Im Jahr 2000 fuhren über 70 % aller Pendler alleine mit dem Auto zur Arbeit und auch 2005 benutzten fast zwei Drittel aller Fahrgäste des öffentlichen Personennahverkehrs diesen nur, weil sie keine Alternative dazu hatten. Lediglich 9 % nutzen den ÖPNV, weil es für sie einfacher und schneller war, als mit dem Auto zu fahren, und 6 %, weil sie es für umweltfreundlich hielten. Allerdings haben die Fahrgastzahlen der Santa Clara Valley Transportation Authority (VTA), nachdem sie zwischen 2002 und 2005 um 30 % zurückgegangen waren, 2006 und 2007 um 6 % bzw. 7 % gegenüber dem Vorjahr zugelegt.

Dies könnte auf Initiativen der Verkehrsbetriebe zurückzuführen sein, die die Menschen zu einem umweltbewussteren Verhalten bewegen sollen. So gibt es einen kostenlosen Shuttle-service, der – finanziert durch Kfz-Steuern – Firmensitze und Wohngebiete mit den nächstgelegenen Bahnhöfen verbindet, an denen es inzwischen insgesamt 31 Park-and-Ride-Parkplätze gibt. Außerdem wird das aus Südostasien und Südamerika bekannte Bus-Rapid-Transit-System eingeführt – Schnellbusse, die mit höherer Geschwindigkeit, weniger Haltestellen, eigenen Busspuren und einem auf sie eingestellten Verkehrsleitsystem schnellere Anbindungen ermöglichen. Zusätzlich soll der gesamte ÖPNV klimafreundlicher werden, zumal auch vom California Air Resources Board bindende Vorgaben existieren, die die Verkehrsbetriebe dazu verpflichten, dass ab 2011 15 % aller neu angeschafften Busse sogenannte Zero-Emission-Busse sein müssen. Momentan werden nur drei der 473 Busse der VTA durch Wasserstoff angetrieben, wobei für 2008 die Anschaffung von drei weiteren Wasserstoffbussen geplant ist. Jedoch sollen zwischen 2010 und 2013 fast 200 alte Dieselflotten durch neue ersetzt werden. Allerdings ist geplant, alle Klimaanlagen in den Fahrzeugen zu modernisieren. Des Weiteren sind im Budget für 2008/09 drei Mio. Dollar dafür vorgesehen, Einrichtungen der Verkehrsbetriebe umweltfreundlicher zu machen, indem Energieverbrauch und Emissionen von Treibhausgasen gesenkt werden sollen. Ein Anfang mit solarbetriebenen Bushaltestellen wurde schon gemacht. Projektstatus hat jedoch das Vorhaben, bis 2020 die Emissionen von Bussen und Instandhaltungseinrichtungen der VTA gegen null zu senken. Aber nicht nur die Verkehrsbetriebe selbst, sondern auch die im Silicon Valley ansässigen Firmen haben die Nachteile des Pendelns ihrer Angestellten im eigenen Auto erkannt.

Produktivität, Arbeitsmoral und Gesundheit der Angestellten leiden unter dem Stress des täglichen Pendelns. Deswegen schlossen sich 210 Firmen zur Silicon Valley Leadership Group (SVLG) zusammen, die mit dem Green Energy Action Plan verschiedene Initiativen zur Förderung alternativer Energien und Fortbewegungsmittel unterstützt. Dieser enthält die Förderung der Entwicklung von Elektroautos durch Konferenzen und Lobbyarbeit und Aktionstage wie den »Cycle-to-Work-Day«. Auch soll der Bau einer Hochgeschwindigkeitszugtrasse von Nord- nach Südkalifornien sowie der Ausbau des Schienennetzes im ÖPNV unterstützt werden. Mit Green Buildings sollen Standards zur Klassifizierung von energiesparenden Gebäuden festgelegt und der Umbau solcher unterstützt werden. Sustainable

→

Kasten 6

Silicon Valley ist ein Zusammenschluss von NGOs,⁵⁰ der kalifornischen Regierung, Instituten, Firmen und Verbänden, um den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen zu verringern. Energy Watch, eine weitere Initiative, beobachtet und analysiert den Energieverbrauch der Firmen in der SVLG und bietet Einsparungsmöglichkeiten an. SolarTech soll das Silicon Valley zum Solar Valley machen und vor allem Einführung, Verbreitung und Markteintritt der Technologie erleichtern. Cool Commuting schließlich ist ein Wettbewerb zwischen Firmen mit dem Ziel, die meisten Angestellten dazu zu bringen, nicht mehr alleine mit dem Auto zur Arbeit zu fahren. Daher gibt es firmeninterne Wettbewerbe, Dusch- und Umkleidemöglichkeiten für Fahrradfahrer, Firmenfahrräder und Firmenshuttle mit Biodiesel zur nächstgelegenen Haltestelle des ÖPNV. Zusätzlich dazu gibt es schon seit 1996 den Eco Pass, der die unbegrenzte Nutzung des ÖPNV erlaubt. Der Eco Pass wird für alle Mitarbeiter eines Unternehmens gekauft, wobei sich der Preis nach der Anzahl der Mitarbeiter und dem Niveau der Verfügbarkeit des ÖPNV richtet.⁵¹

Kasten 6 (Fortsetzung)

⁵⁰ NGO: Non-Governmental Organization.

⁵¹ Santa Clara Valley Transportation Authority (2008a); Santa Clara Valley Transportation Authority (2008b); ITS Magazine (2006); Silicon Valley Leadership Group (2007); Addison, J. (2007).

könnten als Übergangslösung Fahrzeuge betrieben werden, die sich sowohl mit fossilem Kraftstoff als auch mit Wasserstoff betanken lassen. Der Einsatz von Wasserstoff in Verbrennungsmotoren wäre aber auf längere Sicht nicht anzustreben, weil er sich in einer Brennstoffzelle wesentlich effizienter einsetzen ließe. Die Infrastruktur umfasst ein Netz bestehend aus den Produktionsanlagen für Wasserstoff, ein Transportsystem und eine ausreichende Anzahl an Wasserstofftankstellen (zu den Kosten eines Infrastrukturaufbaus siehe Teil B, Kapitel 4.1). In Berlin wurden zwei Wasserstofftankstellen im Rahmen der »Clean Energy Partnership« aufgebaut. An Kunden wurden Wasserstofffahrzeuge verteilt, um die zwei Tankstellen auf ihre Alltagstauglichkeit hin zu überprüfen. Seit 2003 werden in Hamburg Brennstoffzellenbusse eingesetzt, die auf dem Betriebshof Hummelsbüttel der Hamburger Hochbahn betankt und gewartet werden. Ziel ist es, Erfahrungen mit der Brennstoffzellentechnologie und ihrer dazugehörigen Versorgung mit Wasserstoff zu sammeln.⁵² Auch andere Städte in Europa und den USA setzen Wasserstoffbusse ein, um ihren ÖPNV nachhaltiger zu gestalten (vgl. Kasten 6).

In Zukunft wird es für die Verbreitung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie neben dem Aufbau einer funktionierenden Infrastruktur von Bedeutung sein, inwieweit es gelingt, die noch vergleichsweise teure Brennstoffzelle kostengünstiger für den breiten Markt herzustellen. Es ist zu erwarten, dass eine Produktion in größerer Stückzahl zu einer Kostendegression führen wird. Einige Automobilhersteller erforschen an Prototypen die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. BMW und Mazda haben mit ihrem BMW Hydrogen 7 beziehungsweise Mazda Hydrogen RX-8 Fahrzeuge entwickelt, die sowohl mit Wasserstoff als auch mit Benzin fahren können. Der F-Cell von Daimler fährt mit komprimiertem, gasförmigem Wasserstoff und hat das Brennstoff-

⁵² Vgl. Clean Energy Partnership (2007); Hamburger Hochbahn (2009b); hySOLUTIONS (2009).

zellensystem im Wagenboden eingebaut. Weitere Konzerne wie unter anderem Opel, Toyota, Volkswagen und Honda haben Brennstoffzellenautos gebaut. In den Honda FCX sind drei Elektromotoren eingebaut, von denen einer als Radnabenmotor Bremsenergie zurückgewinnt.⁵⁴ In Hamburg wird die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie neben den Wasserstoffbussen auch in anderen Anwendungen eingesetzt (vgl. Kasten 4). Bei der Erzeugung des Wasserstoffes wird zurzeit erforscht, wie die bestehenden Verfahren, insbesondere die Elektrolyse, kostengünstiger und effizienter gestaltet werden könnten. Es wird aber auch nach alternativen Verfahren geforscht, beispielsweise nach Möglichkeiten, Wasserstoff in Metallhydriden (zum Beispiel Natriumborhydrid) zu lagern sowie ihn aus Algen oder sogar aus Ameisensäure herzustellen (vgl. Kasten 7).

Wasserstoff aus Ameisensäure

Forscher vom Leibniz-Institut für Katalyse in Rostock haben bei Raumtemperatur aus Ameisensäure Wasserstoff hergestellt. Die Ameisensäure wird von Ameisen ausgesondert und könnte großtechnisch produziert werden. Bei dem Verfahren wird unter Zugabe eines Amins mithilfe eines Katalysators die Ameisensäure in Wasserstoff und Kohlendioxid zerlegt. In ersten Versuchen gelang es, ein elektrisches Modellauto anzutreiben. Das Ziel der Forscher ist, die Brennstoffzelle für den Betrieb mit Wasserstoff aus Ameisensäure weiter zu optimieren.⁵³

Kasten 7

⁵³ Vgl. Loges et al. (2008).

3.2.6 Ausblick

Welche Technologie sich in Zukunft durchsetzen wird, kann wesentlich von – heute noch nicht absehbaren – Technologiesprüngen in einem Forschungsgebiet abhängen. Aber auch externe Faktoren wie ein steigender Ölpreis, das Wachstum der Weltbevölkerung, ein gesellschaftlicher Wertewandel oder die weltweite Erhöhung des Wohlstands können den Handlungsbedarf bei alternativen Antrieben und Kraftstoffen deutlich erhöhen. Ohne die technische Weiterentwicklung von Antrieben und Kraftstoffen und unter der Prämisse eines konstanten Marktanteils von fossilen Kraftstoffen und Verbrennungsmotoren hieße dies, dass bei einem wachsenden Verkehrsaufkommen die weltweiten CO₂-Emissionen weiter ansteigen. Um die weltweite Energieversorgung in der Zukunft zu gewährleisten und die Reduzierung der klimaschädigenden CO₂-Emissionen zu erreichen, sind daher Anstrengungen in der Forschung und Entwicklung im Bereich der Antriebe und Kraftstoffe nötig, sei es, bestehende Technologien zu optimieren oder neue zur Marktreife zu bringen. Gerade dabei spielt es eine wichtige Rolle, wie Staaten Anreize für den technischen Fortschritt über Fördermaßnahmen setzen (siehe Kapitel 3.3).

⁵⁴ Vgl. Clean Energy Partnership (2007).

Vor dem Hintergrund der weltweit angestrebten CO₂-Ziele werden nur alternative Kraftstoffe und Antriebstechnologien eine Zukunft haben, die nachhaltig und CO₂-arm sind. Damit werden Biokraftstoffe der ersten Generation, die nicht nachhaltig sind, mittelfristig keine Chance haben und vom Markt verschwinden, wenn das internationale Zertifizierungsverfahren für Biokraftstoffe vollständig effektiv greift. Eine künftig zunehmende Nahrungsmittelnachfrage aufgrund der weltweit steigenden Bevölkerung und des wachsenden Wohlstands lässt eine stärkere Verbreitung aller Biokraftstoffe der ersten Generation unwahrscheinlicher werden. Nachhaltig hergestellte Biokraftstoffe der ersten Generation werden vermutlich nur eine vorübergehende Lösung sein, bis die Biokraftstoffe der zweiten Generation marktreif sind und in großem Umfang hergestellt werden können.

Die Biokraftstoffe der zweiten Generation wie synthetisch hergestellter BTL-Diesel sind äußerst verträglich für die Verbrennungsmotoren, während Biokraftstoffe der ersten Generation dagegen ab einem gewissen Beimischungsanteil schädigend wirken können. Nach Berechnungen des ADAC würde eine Beimischung von 10 % Bioethanol zum fossilen Kraftstoff in Deutschland bei mehreren Millionen Fahrzeugen zu Problemen führen, weil die Qualitätsanforderungen an einen hochreinen Kraftstoff nicht erfüllt wären.⁵⁵ Darüber hinaus haben Biokraftstoffe der zweiten Generation einen höheren Hektarertrag als die der ersten Generation und können dort angebaut werden, wo eine Nutzung für die Nahrungsmittelerzeugung nicht möglich ist. Die IEA⁵⁶ erwartet, dass bei fortschreitender signifikanter Forschungs- und Entwicklungsanstrengung bis zum Jahre 2030 Ethanol aus Zellulose und BTL-Diesel wettbewerbsfähig zum fossilen Kraftstoff sein werden. Dabei wurde ein Ölpreis von 70 bis 80 US-Dollar auf Basis des Jahres 2008 unterstellt.⁵⁷

In ihrem neuesten »World Energy Outlook« hat die IEA im Referenzszenario einen steigenden Verbrauch an Biokraftstoffen bis hin zum Jahre 2030 ermittelt (vgl. Abbildung 14). Der weltweite Biokraftstoffverbrauch wird von 24,4 Mtoe im Jahre 2006 auf 118,5 Mtoe im Jahre 2030 ansteigen, was einer durchschnittlichen Jahreswachstumsrate von 6,8 % in den Jahren 2006 bis 2030 entspricht. Im Jahre 2030 erfüllen die Biokraftstoffe damit etwa 5% der weltweiten Kraftstoffnachfrage im Straßenverkehr.⁵⁸

55 Vgl. ADAC (2009).

57 Vgl. IEA (2008b).

56 IEA: International Energy Agency.

58 Vgl. IEA (2008a).

Weltweiter Biokraftstoffverbrauch

Mtoe

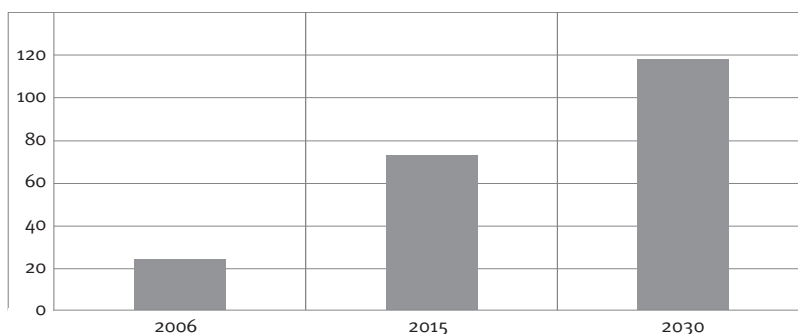


Abb. 14

Quellen: IEA (2008a); HWWI.

Auch die OECD hat verschiedene Szenarien für den zukünftigen weltweiten Anteil der Biokraftstoffe am gesamten Kraftstoffverbrauch entwickelt. Die Szenarien unterscheiden sich in der Höhe des unterstellten Ölpreises, der Intensität der staatlichen Biokraftstoffförderung und der zugrunde gelegten Nachfrageentwicklung. Ein hoher Ölpreis führt wegen der verbesserten Wettbewerbsfähigkeit der Biokraftstoffe genauso wie eine weltweit verstärkte staatliche Förderung der Biokraftstoffproduktion zu höheren Beimischungsquoten im Jahre 2030 als den von der IEA berechneten 5%.⁵⁹ Letztlich wird es für den zukünftigen Anteil der Biokraftstoffe am gesamten Kraftstoffverbrauch eine zentrale Rolle spielen, inwieweit genügend Biomasse weltweit für seine Herstellung zur Verfügung stehen wird.

Hybride Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und Elektromotor können CO₂-neutral sein, wenn sie neben regenerativem Strom mit Biokraftstoff betankt werden, und können eine Brückentechnologie für reine Elektroautos sein. Weitere Optimierungen bei der Hybridtechnologie werden zusätzliche Energieeinsparungen gegenüber Fahrzeugen mit ausschließlich einem Verbrennungsmotor mit sich bringen. Diese möglichen Einsparungen hängen vom Hybridisierungsgrad der Fahrzeuge ab: Während sie beim Mikrohybrid bei 8 bis 15 % liegen, werden sie beim Mildhybrid auf 15 bis 20 % geschätzt und beim Vollhybrid auf 40%.⁶⁰ Die Verbreitung der reinen Elektrofahrzeuge wird von den Fortschritten bei der Batterietechnik abhängen. Für die Elektrofahrzeuge ist mit dem Stromnetz schon eine Infrastruktur vorhanden, die genutzt werden könnte, nur Aufladestationen müssten gebaut werden. Elektrofahrzeuge könnten sogar helfen, das Stromnetz besser auszulasten, wenn sie über Nacht aufgeladen werden (vgl. Teil B, Kapitel 4.2).

Bei der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie müsste eine komplett neue Infrastruktur für die Herstellung und den Vertrieb des Wasserstoffes aufgebaut werden. Wie beim Strom für Elektroautos gilt bei Wasserstoff, dass er über erneuerbare Energien hergestellt werden muss, um CO₂-arm und damit zukunftsfähig zu sein. Bei der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie könnten Fahrzeuge eine Übergangslösung sein, die sich mit Benzin und Wasserstoff betanken lassen. Auf diese Weise könnte der zeitaufwendige Aufbau einer Infrastruktur überbrückt werden. Die Bedeutung des Wasserstoffes in der Zukunft wird auch davon abhängen, inwieweit es gelingt, die modernen Elektrolyseverfahren zu verbessern, den Wasserstoff effizienter zu speichern und die Kosten für die Brennstoffzelle zu senken.

Weder Fahrzeuge mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie noch reine Elektrofahrzeuge werden ohne einen besonderen technischen Durchbruch vor 2030 in großer Stückzahl verbreitet sein. Dagegen geht die IEA davon aus, dass die Hybrid-Antriebe mit Verbrennungs- und Elektromotor in der näheren Zukunft Marktanteile gewinnen werden. So hat Shell Deutschland in ihren Pkw-Szenarien für das Jahr 2030 die Anteile der Hybridfahrzeuge an den Neuzulassungen in Deutschland mit 20 % im Trendszenario beziehungsweise sogar 50 % im Alternativszenario berechnet. Im Alternativszenario wird unterstellt, dass die nachhaltige Mobilität stärker staatlich gefördert wird.⁶¹

⁵⁹ Vgl. OECD (2008).

⁶⁰ Vgl. TÜV Rheinland (2009).

⁶¹ Vgl. Shell Deutschland (2009).

3.3 Wirtschaftspolitische Instrumente zur Förderung nachhaltiger Mobilität

Eine nachhaltige Mobilität lässt sich nur durch den vermehrten Einsatz klimafreundlicher und verbrauchsarmer Technologien im Verkehr erreichen. Allerdings existiert ein zweifaches Marktversagen, das die Durchsetzung neuer Technologien am Markt erschwert.

Das erste Marktversagen besteht darin, dass die Kosten von CO₂-Emissionen nicht vollständig vom Verursacher getragen werden. Technisch gesprochen verursachen CO₂-Emissionen negative externe Effekte. So treffen die Folgen des Klimawandels auch und vor allem Länder, die nicht oder kaum zu den globalen CO₂-Emissionen beitragen. Auch könnten vor allem zukünftige Generationen die Lasten des Klimawandels tragen müssen, der von der heutigen Generation verursacht worden ist. Es besteht deshalb kein ausreichender Anreiz, CO₂-Emissionen zu vermeiden oder zu reduzieren. Umgekehrt besteht ein Anreiz, sich im Klimaschutz als Trittbrettfahrer zu verhalten. Es ist individuell rational, darauf zu warten, dass andere die Kosten tragen. Dies führt zu einem Koordinierungsversagen. Die kollektiv optimale Lösung kommt nicht zustande. Die Folge ist ein aus gesamtwirtschaftlicher Sicht zu hoher CO₂-Ausstoß. Dieses Marktversagen kann durch wirtschaftspolitische Maßnahmen korrigiert werden.

Für eine Regulierung der CO₂-Emissionen stehen der Politik unterschiedliche Instrumente zur Verfügung, zum Beispiel eine CO₂-Steuer oder aber die Ausgabe von Emissionsrechten. Letztere ist insoweit effizient, als damit der gewünschte Umfang an CO₂-Emissionen zielgenau gesteuert und gleichzeitig zu minimalen Kosten erreicht werden kann. Durch die Handelbarkeit der CO₂-Zertifikate ist zudem eine intertemporale Kostenminimierung der CO₂-Vermeidung gewährleistet. Aufgrund von Effizienzüberlegungen wäre eine Einbeziehung des Verkehrssektors in den Emissionshandel wünschenswert, da Vermeidung dann dort stattfindet, wo sie zu den geringsten Kosten möglich ist.⁶²

Das zweite Marktversagen besteht darin, dass neue, sogar eigentlich überlegene Technologien sich gegenüber den etablierten Technologien nicht am Markt durchsetzen können. Insbesondere bei Netztechnologien, also solchen, zu deren Nutzung eine spezifische Infrastruktur erforderlich ist, kann es zu Marktversagen kommen.⁶³ Eine Nachfrage entsteht erst dann, wenn eine ausreichende Infrastruktur existiert. Umgekehrt rentiert sich der Aufbau einer solchen Infrastruktur erst dann, wenn eine hinreichende Nachfrage besteht. Eine befestigte Straße zu einem Bergdorf zu bauen, in dem es keine Autos gibt, mag ökonomisch zunächst wenig effizient erscheinen. Ohne Straße indes besteht für die Anwohner auch kein Grund zur Anschaffung eines Autos. Dieses Beispiel illustriert, dass private Märkte in der Bereitstellung der erforderlichen Infrastruktur versagen können. Ursache hierfür sind sogenannte Netzexternalitäten. Je größer das Netzwerk oder die Infrastruktur ist, desto größer ist der Nutzen für den Verbraucher und desto geringer sind die Kosten für den Anbieter. Aufgrund dieser Zusammenhänge kann eine kritische Marktgröße existieren, die nur erreicht werden kann, wenn die Etablierung einer neuen Technologie extern »angestoßen« wird.

⁶² Vgl. Bräuninger et al. (2007).

⁶³ Vgl. zum Beispiel Holzhausen (2004).

So gibt es kaum einen Anreiz, sich ein Elektrofahrzeug zu kaufen, solange es hierfür kein ausreichendes Netz an Aufladestationen gibt. Dies bremst die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen, was wiederum verhindert, dass die Herstellung von Elektrofahrzeugen in den Bereich der effizienten und kostenminimalen Serienproduktion gelangt.

Oft ist der Zugang zu einem Netz an technische Eigenschaften geknüpft, das heißt, das Endgerät muss kompatibel zum Netz sein. Da der Aufbau eines Netzes oft sehr hohe Fixkosten verursacht, existieren nur selten mehrere Netze nebeneinander. Dies hat zur Folge, dass einmal etablierte Netztechnologien ein großes Verharrungsvermögen aufweisen. Es kann dazu kommen, dass sich aufgrund dieses Zusammenhangs selbst überlegene Technologien nicht gegenüber den ineffizienten alten Technologien durchsetzen, da der Aufbau eines Netzes beziehungsweise einer Infrastruktur hohe Kosten verursacht, die von privaten Investoren nur selten getragen werden können. Die Wahl einer Technologie ist also sehr stark pfadabhängig. So haben bereits etablierte Technologien einen Vorteil gegenüber neuen Technologien, für die die Markteintrittskosten oft prohibitiv sind. Um wettbewerbsfähig zu werden, ist es für neue (Netz-)Technologien mit hohen Fixkosten daher wichtig, in den Bereich der effizienten und kostenminimalen Serienproduktion zu gelangen.

Aufgrund dieses doppelten Marktversagens gilt es, entsprechende Anreize für die Schaffung der Voraussetzungen für nachhaltige Mobilität zu setzen. Grundsätzlich stellt sich für die Wirtschaftspolitik dabei die Frage, welche Ziele durch den Markt beziehungsweise durch marktkonforme Instrumente erreicht werden können und wo aufgrund von Marktversagen ein regulierender beziehungsweise lenkender Eingriff des Staates notwendig sein kann. Durch den Preisanstieg bei den fossilen Energieträgern infolge steigender Knappheit – die Nachfrage steigt und das Angebot nimmt ab – werden neue Technologien auf dem Markt mit der Zeit ohnehin attraktiver. Da die Energienachfrage zumindest kurzfristig sehr unelastisch in Bezug auf den Preis reagiert, können die Preissteigerungen bei sinkendem Angebot an fossilen Energien sehr kräftig ausfallen. Dadurch werden schon jetzt alternative Energien wettbewerbsfähiger. Dies kann zu positiven Angebots-effekten führen.

Förderung alternativer Technologien, Marktreife und Preispfad

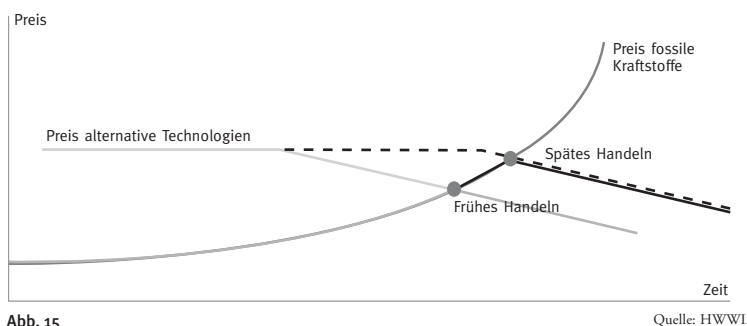


Abb. 15

Quelle: HWWI.

Zudem werden mit steigenden Energiepreisen Investitionen zur Erhöhung der Energieeffizienz rentabel. Schon allein der Preismechanismus führt also zu verhaltensinduzierten Anpassungen, die den Prozess zur Erreichung der Marktreife von neuen Technologien im Automobilssektor erheblich beschleunigen können. Gleichwohl sind begleitende wirtschaftspolitische Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien und alternativer Technologien sinnvoll. Frühes Handeln verschiebt den Entwicklungsprozess zeitlich nach vorne und kann so zu einem deutlich niedrigeren Preispfad führen. Neue Technologien schaffen Substitutionsmöglichkeiten zu fossilen Energieträgern und können die Preissteigerungen erheblich dämpfen (vgl. Abbildung 15).

Bislang haben sich im Verkehr technologische Entwicklungen vor allem in der Motorleistung und im Kraftstoffverbrauch gezeigt. Alternative Antriebstechnologien haben sich in der Praxis gegenüber fossilen Kraftstoffen bisher kaum etablieren können. Es gibt jedoch erfolgversprechende Pilotprojekte, die einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur Marktreife markieren. Weiterhin kann eine politische Zielsetzung die privaten Aktivitäten erhöhen und dadurch den Entwicklungs- und Marktreifeprozess beschleunigen. Da sich die Bedeutung alternativer Antriebstechnologien im Verkehr für den Klimaschutz politisch und ökonomisch manifestiert hat, ist eine staatliche Förderung aus wirtschafts- und ordnungspolitischer Sicht sinnvoll. Darüber hinaus kann es spezifische wirtschafts- und industriepolitische Argumente für eine staatliche Förderung bestimmter Branchen,

Wirtschaftspolitische Instrumente zur Förderung nachhaltiger Mobilität

Ebene	Maßnahme	
Allgemeine Wirtschafts- und Innovationspolitik	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung des Forschungsstandorts Deutschland • Stärkung der Vernetzung und des Wissenstransfers zwischen Forschung und Praxis • Ausbau der technologischen Führerschaft im Bereich der Umwelt- und Klimatechnologien 	
Spezifische Instrumente zur Förderung von alternativen Antriebstechnologien	Nachfrageseite	Angebotsseite
	<ul style="list-style-type: none"> • Ersetzung der Kfz-Steuer durch eine CO₂-Steuer (sofern kein Emissionshandel im Verkehrssektor) • Subventionierung des Austauschs der »alten« durch umweltfreundliche Flotten • Einführung einer ökologischen City-Maut 	<ul style="list-style-type: none"> • Übernahme von Infrastrukturinvestitionen • Steuerliche Begünstigung von F&E-Investitionen in neue Antriebstechnologien • Initiativen und Projekte (z. B. Public-Private-Partnership)

Tab. 6

Quelle: HWWI.

Technologien oder Forschungsweige geben. Zum Beispiel können durch die technologische Führerschaft als »First Mover« langfristige Renditen erzielt werden. Dem steht jedoch das Risiko gegenüber, auf die »falsche« Technologie zu setzen. Aufgrund von Netzexternalitäten und hohen Marktaustrittskosten können sich langfristig ineffiziente Technologien etablieren (Lock-in-Effekte).

Als Förderinstrumente stehen dem Staat unterschiedliche Instrumente zur Verfügung (vgl. Tabelle 6). Die Maßnahmen beinhalten sowohl allgemeine technologie- und forschungspolitische Förderung als auch spezifische Instrumente, die an der Angebots- oder der Nachfrageseite ansetzen.

Eine staatliche Förderung sollte nach Möglichkeit technologieneutral sein, um Marktlösungen nicht zu prädestinieren. Zurzeit ist die Investitionsunsicherheit der Automobilhersteller allerdings noch sehr hoch. Es ist bis zum jetzigen Zeitpunkt unklar, welche Technologien sich durchsetzen werden. Viele Automobilhersteller sind daher noch in vielfältigen Projekten zur Entwicklung verschiedener neuer Technologien engagiert.

Teil B

Konsequenzen für Unternehmen und Investoren

Berenberg Bank

1. Investitions- und Forschungsrichtungen führender Automobilanbieter

1.1 Maßnahmen zur CO₂-Reduzierung bei Personenkraftwagen

Betrachtet man die Maßnahmen zur CO₂-Reduzierung bei Personenkraftwagen, ist es das Ziel der Hersteller, die negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu minimieren und gleichzeitig Komfort und Fahrvergnügen zu steigern beziehungsweise nicht zu reduzieren. Zuerst einmal wird daher bei der CO₂-Reduzierung auf die Weiterentwicklung vorhandener Technologien, aber auch Neuentwicklungen zur Verbesserung vorhandener Fahrzeugeigenschaften gesetzt. Darunter fallen unter anderem Weiterentwicklungen in der Reifentechnik, Leichtbauelemente sowie Start/Stopp-Funktionen. Diese werden dann mit Entwicklungen von neuen Antriebsarten ergänzt. Hierzu gehören zum Beispiel Hybrid- und Elektroantriebe, aber auch alternative Kraftstoffe wie Bioethanol und Sun-Diesel bieten recht großes Einsparpotenzial bei dem CO₂-Ausstoß. Wohl erst nach 2020 können wir mit Brennstoffzellen in Personenkraftwagen rechnen, die für den Endverbraucher bezahlbar sind und auch entsprechend Fahrspaß bieten. Der Schwerpunkt wird hier aber eher bei großen Fahrzeugen liegen. Ähnlich liegen auch die Schätzungen mit der Massenverbreitung von Elektromotoren in Personenkraftwagen, obwohl schon erste Versuchsreihen auf deutschen, japanischen und amerikanischen Straßen unterwegs sind.

1.1.1 Verbrauchssenkende Strategien herkömmlicher Antriebsarten (Otto/Diesel)

Der schnellste Weg, Autos umweltfreundlicher und kostensparsamer zu machen, ist erst einmal, die vorhandenen Technologien zu verbessern. Hiermit ist es den Automobilherstellern möglich, ihren Flotten relativ schnell ein »grünes Label« zu verpassen, ohne zu große Risiken bei der Entwicklung neuer Technologien einzugehen. Zwar zeichnen sich gewisse Trends ab, dennoch ist es immer noch nicht sicher, welche Technologie (Elektromotor, Brennstoffzellen, Wasserstoff, Hybride oder eine ganz andere Lösung wie Solar) sich am Ende durchsetzen wird. Deshalb setzen die führenden Hersteller erst einmal auf verbrauchssenkende Maßnahmen für ihre aktuellen Modelle. Hierzu zählen modifizierte Klimaanlage und Ölkühler, Rekuperationssysteme, die beim Bremsen kinetische in elektrische Energie umwandeln, Start-Stopp-Anlagen, glattflächige Oberflächen, leichtere Getriebe, bessere Aerodynamik, Schaltpunktanzeigen, Gewichtsreduzierung und effizientere, aber vor allem emissionsärmere Motoren. Des Weiteren werden viele Motoren für Mischantriebe (Erdgas, Flüssiggas, Bioethanol) umgerüstet. Aber auch im Hinblick auf die Herstellung beziehungsweise die Verschrottung von Autos werden Umweltmaßnahmen eingeführt. So achten zum Beispiel einige Hersteller darauf, dass ihre Automobile zu über 90% recyclebar sind und zu einem gewissen Anteil auch aus recycelten Kunststoffen hergestellt werden.

Zusätzlich forschen aber auch Universitäten und Institute daran, ihren Beitrag leisten zu können. Selbst vermeintlich kleine Innovationen sind meist mit einem erheblichen technischen Aufwand verbunden. Eine Forschergruppe der Universität Liverpool hat zum Beispiel in Zusammenarbeit mit Ford ein System entwickelt, bei dem mithilfe der Laserzündung eine stabilere Verbren-

EU-Projekt »SuperLIGHT-CAR«

Im Jahr 2005 hatten sich unter der Führung der Volkswagen AG viele führende Partner aus Forschung, Flugzeug- und Zulieferindustrie aus neun europäischen Ländern zusammengetan, um im EU-Projekt »SuperLIGHT-CAR« an leichten Karosserien für saubere Automobile der Zukunft zu arbeiten. Ziel war es, mithilfe des Multi-Material-Designs (das richtige Leichtbaumaterial an der richtigen Stelle einsetzen) eine Gewichtsreduzierung von 30 % gegenüber der Referenzstruktur des VW Golf V zu erreichen. Dies sollte natürlich bei gleichbleibender Sicherheit, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen fahrzeugspezifischen Anforderungen und unter vertretbaren Mehrkosten geschehen. Die 2009 erreichte Gewichtsersparnis von 35 % wird wohl maßgebliche Impulse für künftige Karosseriestrukturen geben. Denn Leichtbau ist eine der Schlüsseltechnologien im Automobilssektor, gerade im Hinblick auf die Weiterentwicklung von Elektrofahrzeugen.¹

Kasten 8

¹ Vgl. Kopp/Beeh (2009).

nung bei weniger Kraftstoff- und Energieaufwand sichergestellt werden soll. Dennoch stehen bei dieser Technologie wohl eher die Kostenreduktion und die Haltbarkeit im Vordergrund und nicht die Lösung für die aufkommenden Energiefragen. Aber solange noch Verbrennungsmotoren im Umlauf sind, ist es durchaus eine Technologie, die Fortschritte bringt.

All diese Maßnahmen sind hilfreich, dennoch nicht mehr als Übergangslösungen, deren Entwicklungen vielleicht auch für die künftigen Generationen von Antriebstechnologien von Vorteil sein werden. Selbst viele Sportwagenhersteller haben begriffen, dass auch ihre Käufer ein gewisses Umweltbewusstsein entwickelt haben, und versuchen, ihren Kunden entgegenzukommen.

1.1.2 Hybridantrieb

Schon in einigen Autos zu finden, werden Hybridantriebe von den meisten Fahrzeugherstellern mittelfristig als die sinnvollste Alternative angesehen. Das liegt unter anderem daran, dass die bisherigen Elektromotoren entweder nicht genügend Leistung aufbieten oder die entsprechende Leistung nicht lang genug zur Verfügung stellen können. Daher bietet sich eine Kombination zwischen dem herkömmlichen Verbrennungsmotor (Otto-, aber auch Dieselmotor) und einem Elektromotor als Übergangslösung an. Langfristig soll aber der Verbrennungsmotor aussterben, was somit den auch sehr teuren Hybridantrieben schlechte Aussichten für die Zukunft beschert, sollten sie nicht günstig mit alternativen Antriebsarten, wie zum Beispiel der Brennstoffzelle, kombinierbar sein. Bei Hybridmotoren lassen sich grob drei Arten unterscheiden: die Voll-Hybrid-Variante, der Mild Hybrid und die Plug-in-Variante² (vergleiche hierzu Teil A, Kap. 3.2.4). Auch wenn fast alle Automobilanbieter in den nächsten Jahren mehrere Autos mit Hybridantrieben ausstatten werden, wird

² Die Voll-Hybrid-Variante erlaubt auch rein elektrisches Fahren, bei dem Mild Hybrid unterstützt bei Bedarf der Elektro- den Verbrennungsmotor, die Plug-in-Varianten besitzen größere Batterien und können/müssen zum Aufladen an eine Steckdose.

der Hybridantrieb dennoch kein reines Massenphänomen, sondern maximal Teile der Gesamtflotten ausmachen. Es wird aber erwartet, dass ihr Anteil stark steigen wird. In Japan zum Beispiel sehen Experten den Absatz von Hybridautos von 500 000 Fahrzeugen im Jahr 2008 auf mehr als 11 Mio. bis 2020 steigen. Um die Elektronik in den Antrieb zu bekommen, wählen einige Hersteller die Kooperation mit Zulieferbetrieben, kaufen sich bei bestehenden Elektroautoanbietern ein oder entwickeln alleine beziehungsweise in Konglomeraten die entsprechende Technologie.

Besonders interessant sind aber auch die Energiegewinnungsmethoden mithilfe der Verbrennungsmethoden. Da die aktuellen Speichertechnologien für Elektromotoren entweder nicht ausreichend oder einfach auch zu schwer beziehungsweise platzraubend sind, versuchen die Hersteller während des Fahrens, Energie zu gewinnen beziehungsweise entstehende Energie besser zu nutzen. Hierunter fallen zum Beispiel die schon erwähnten Rekuperationssysteme, die kinetische in elektrische Energie umwandeln (Bremsenergierückgewinnung), aber auch die Thematik der thermoelektrischen Generatoren wird zumindest mittelfristig eine sinnvolle Alternative beziehungsweise Ergänzung zu den Hybridantrieben sein.

Thermoelektrische Generatoren

Bereits im 19. Jahrhundert entdeckte der deutsche Physiker Thomas Johann Seebeck, dass sich bei Temperaturdifferenzen elektrische Spannung zwischen zwei Punkten unterschiedlicher Stromleitern aufbaut. Dieses Prinzip nutzen thermoelektrische Generatoren, um Strom zu erzeugen. Strom aus den Abgasen eines Autos zu gewinnen hat, so schätzen Experten, ein Spriteinsparpotential von 5 bis 10% und wird gerade in Zeiten der hybriden Fahrzeuge immer interessanter. Im zweiten Halbjahr 2009 soll vom deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt ein BMW-Versuchsfahrzeug vorgestellt werden, bei dem diese Technik bereits erfolgreich getestet wurde.³

Kasten 9

3 Vgl. DLR (2008).

1.1.3 Erdgas- und Bioethanolantrieb

Gerade die kleineren Motoren vieler Hersteller sind schon oder sollen sehr bald auf Mischkraftstoffe umgestellt werden. Hierzu zählen der zusätzliche Einsatz eines Gastanks, aber auch die Möglichkeit, Biokraftstoffe zu tanken. Dies wird jedoch in den meisten Fällen nur als ein Zusatz gesehen, der vorübergehend die aktuellen Antriebstechnologien umweltfreundlicher machen kann. Deswegen kann man auch erwarten, dass in den nächsten Jahren fast alle Automobilhersteller den Großteil ihrer Flotte mit der sogenannten Multi-Fuel-Technologie ausgerüstet haben. Einige Anbieter setzten auch auf Biomass-to-liquid(BTL)-Kraftstoffe, die im Gegensatz zu Biodiesel⁴ und Bioethanol⁵ aus

⁴ Biodiesel ist biosynthetischer Kraftstoff, der in Europa meist durch die Umesterung von Rapsöl mit Methanol gewonnen wird.

⁵ Bioethanol ist Ethanol, das ausschließlich aus nachwachsenden Kohlenstoffträgern oder den biologisch abbaubaren Anteilen von Abfällen hergestellt wurde und für die Verwendung als Biokraftstoff bestimmt ist (Definition nach 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).

Holz, Stroh beziehungsweise Ganzpflanzen-Biomasse hergestellt werden (siehe hierzu Teil A, Kap. 3.2.2). So kann insbesondere die gesamte geerntete Pflanze für die Kraftstoffproduktion verwendet werden – je nach Ausgangsprodukt kann so ein höherer Hektar-Ertrag für die genutzte Biomasse erzielt werden.⁶ Einige wenige Hersteller sehen auch in diesem Bereich Möglichkeiten, die Antriebstechnologie weg von den Verbrennungsmotoren hin zu der Brennstoffzellentechnologie zu lenken.

1.1.4 Wasserstoff- und Brennstoffzellenantrieb

Im Rahmen ihrer Effizienzbemühungen (siehe 2.1) setzen viele Automobilanbieter langfristig auf die Nutzung von regenerativ erzeugtem Wasserstoff als Energieträger. Während schon einige Fahrzeuge in ersten Tests sind, lassen die meisten Hersteller aber den Zeitpunkt einer Serieneinführung noch offen. Ersten Schätzungen zufolge kann man vor dem Jahr 2020 nicht mit günstigen, das heißt auch für den Normalverbraucher rentablen wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen rechnen. Dennoch bleibt es das erklärte langfristige Ziel vieler Automobilanbieter, die wasserstoffbetriebene Brennstoffzelle serienreif zu machen. In Japan ist sogar schon ein erstes Fahrzeug in einem Leasingprogramm, dessen Antrieb aus einem Wasserstoff/Benzin-Kreiskolbenmotor und einem Elektromotor besteht, vertreten. Gerade in Bezug auf die Brennstoffzelle wird auch die Hybridtechnologie zumindest mittelfristig nicht als reine Übergangslösung betrachtet, sondern dient vielmehr als eine Plattform, die mit anderen Antrieben kombiniert werden kann (vgl. hierzu Teil A, Kap. 3.2.4).

1.1.5 Elektroantrieb

Hier sind sich viele Experten einig: Am Elektrobetrieb kommt in Zukunft kein Hersteller vorbei. Auch wenn es zurzeit noch einige Automobilanbieter gibt, die Hybridmodelle noch nicht in ihre Flotte einplanen, die reinen Elektroautos werden kommen.⁷ Viele Hersteller testen bereits sogenannte City-Modelle, einige andere Hersteller wollen ihre Modelle erst einmal als Service-Fahrzeuge auf Flughäfen zum Einsatz kommen lassen. An Varianten mangelt es hierbei nicht: Von einem zentralen Elektromotor, dem in manchen Fällen ein kleiner Dieselmotor als Reserve zur Seite gestellt wird, über kleine Elektromotoren an jedem der vier Räder bis hin zu Besonderheiten, wie einem Navigationsgerät, das den Radius der aktuellen Akkuleistung anzeigt oder die direkte Verbindung zum Mobiltelefon (zum Beispiel mit Informationen über den Ladezustand) ermöglichen, scheinen der Innovationskraft der Hersteller momentan wenig Grenzen gesetzt. Auch die Kommunikation des Fahrzeugs mit dem Stromnetz wird erprobt. Somit soll dem Fahrzeug ermöglicht werden, seine Batterie dann aufzuladen, wenn der Strom besonders günstig ist oder wenn gerade viel Ökostrom ins Netz eingespeist wird.

Da zurzeit vor allem die Batterie einen Engpassfaktor darstellt (sie ist momentan noch zu teuer und bringt dafür im Bereich Leistung pro Kilogramm und Haltbarkeit noch zu schlechte Werte), gibt es einige Unternehmen, die mit Konkurrenten, Stromkonzernen, Elektronunternehmen, aber auch Regierungen zusammenarbeiten, um so ihre Chance auf einen Durchbruch zu erhöhen.⁸

⁶ Büsser/Frischknecht/Jungbluth/Tuchschnid (2008).

⁷ Momentan ausgestattet mit Lithium-Ionen-Batterien, die mehr als die doppelte Kapazität bisheriger Nickel-Metallhydrid-Akkus bieten.

⁸ Aber auch hier gilt zu beachten, dass die Forschung in die verschiedensten Richtungen geht: Von der reinen Batterieleistung über Materialien bis hin zu Schnellladetechnologien ist alles auf der Agenda der Hersteller.

Zusätzlich sprießen neue Unternehmen aus der Erde, die gleich versuchen, in die sich jetzt schon aufzeigenden Nischen vorzudringen. So gibt es Unternehmen, die mit extremen Low-Cost-Varianten versuchen, das Elektroauto noch vor den großen Automobilherstellern massentauglich zu machen. Auch völlig neue Ansätze, die allein schon optisch wenig mit unserer aktuellen Vorstellung vom Automobil zu tun haben, werden vermehrt vorgestellt.

1.2 Der Weg ins Jahr 2030

Obwohl wir schon jetzt einige Elektroautos auf den Straßen in den verschiedensten Ländern der Welt – natürlich meist nur zu Testzwecken – sehen, steckt noch zu viel Potenzial im Hinblick auf die Energieeffizienz in den herkömmlichen Verbrennungsmotoren, als dass die Automobilhersteller auf diese kurzfristig verzichten würden. Zum einen hängen nicht nur viele Arbeitsplätze, sondern möglicherweise auch die Souveränität der einzelnen Automobilhersteller von diesen ab. Mit der zunehmenden Bedeutung der Elektronik und anderer nichtkerngeschäftlicher Bereiche der Automobilindustrie muss diese um ihre Bedeutung fürchten, da deren Kernkompetenzen durch andere Anbieter stückweise ersetzt werden könnten. Gerade die Stellung der großen Energiekonzerne könnte die Vormachtstellung der Automobilbranche in den meisten Ländern (besonders Deutschland und Japan) gefährden. Denkbar wäre ein Szenario, bei dem den Automobilherstellern eine ähnliche Rolle zukommt wie den Herstellern von Mobiltelefonen und die tatsächliche Kundenansprache sowie Distribution über die Energiekonzerne als Netzanbieter läuft. Daher sollte man Gas und Wasserstoff weiterhin auch als mögliche Zukunftsvariante in Betracht ziehen. Hier muss nämlich die eigentliche Antriebstechnologie nicht komplett geändert werden, was die Kernkompetenzen der Automobilkonzerne wahren könnte. Vielleicht bleiben auch die notwendigen Fortschritte in der Batterietechnologie aus, Wasserstoff entpuppt sich als nicht lebensfähige Alternative, und das Automobil muss komplett neu erfunden werden. Viele Kritiker der aktuellen Elektroautos bemängeln gerade die Tatsache, dass die meisten Automobilkonzerne lediglich die Elektrifizierung des Autos vorantreiben und nicht an völlig neuen Konzepten arbeiten. »Es ist, als ob Sie ein richtig fettes Motorboot nehmen, einen Mast draufsetzen und damit segeln wollen. Das würde funktionieren, aber nicht gut.«⁹ Dennoch steckt Experten zufolge im Geschäft mit Elektroautokomponenten – insbesondere Batterien – noch hohes Potenzial, auch für westliche Nationen. So resultieren nur 10 % bis 15 % der Herstellungskosten aus Arbeitskosten, weshalb keine großen Preisunterschiede zu Erzeugnissen aus Niedriglohnländern zu erwarten sein dürften.

Aber gerade der Faktor Kosten sollte nicht unterschätzt werden. So zeigte eine Studie,¹⁰ dass allein in Deutschland die Entwicklung und die Produktion sparsamer Verbrennungsmotoren sowie elektrischer Antriebe pro Fahrzeug bis zu 1 900 Euro betragen wird. In Bezug auf die Gesamtproduktion in Deutschland belaufen sich die Kosten dann insgesamt auf 114 Mrd. Euro, die nur zu etwa 50 % an den Kunden weitergegeben werden können. Somit wäre die Automobilindustrie mit Kosten von ca. 60 Mrd. Euro allein nur in diesem Bereich belastet. Aber mit dem EU-Ziel, bis 2020

⁹ Sagre Paolo Tumminelli, Vorstandsmitglied des Schweizer Unternehmens Mindset, gegenüber der Euro am Sonntag, 4./5.7.2009.
¹⁰ McKinsey (2009).

die Abgasbelastung pro Fahrzeug (auf die Gesamtflotte gerechnet) auf einen CO₂-Grenzwert von 98 Gramm pro Kilometer (derzeit liegt der durchschnittliche Ausstoß bei ca. 160 Gramm pro Kilometer) zu senken (siehe auch Teil A, Kap. 3.1) und vor allem den drohenden Milliarden-Strafen¹¹ scheint eine Entwicklung von Elektroautos mit einem CO₂-Ausstoß von 0 Gramm auch aufgrund des politischen Drucks abseits der Markttrends unabdingbar. »Vor einer breiten Einführung von Elektrofahrzeugen sind [aber erst] zahlreiche politische, regulatorische, technische und infrastrukturelle Voraussetzungen zu schaffen, die einen Schulterchluss von Politik, Industrie und Energiewirtschaft erfordern.«¹² Während die Prognosen euphorischer Technologie-Experten von 0,4 bis zu 5 Mio. Elektrofahrzeugen, die 2020 in Deutschland unterwegs sein sollen, weit auseinandergehen, gibt es auch noch genug Fachleute, die nicht in die allgemeine Aufbruchsstimmung einstimmen. Für sie sind die aktuellen Probleme der geringen Reichweiten, langen Ladezeiten und der technischen Schwierigkeiten mittelfristig noch nicht zufriedenstellend lösbar.

Wie könnte also das Bild mittelfristig aussehen? Betrachten wir den Langstreckenverkehr, werden wir wohl auch die nächsten 10 bis 15 Jahre Verbrennungsmotoren mit und ohne Hybrid sehen. Während im Überland- und Stadtverkehr zusätzlich noch Plug-in-Hybride und Brennstoffzellenantriebe in Betrieb sein werden, könnten sich die sogenannten Megacities zusehends mit Elektrofahrzeugen mit Batterie- und Brennstoffzellenantrieb füllen. Den Schlüssel zu einer umweltverträglichen und zugleich bedarfsgerechten Automobilität bildet mittelfristig das Neben- und Miteinander von Hightech-Verbrennungsmotor, Hybrid- und Elektroantrieb.

Und wie wird es nun langfristig aussehen? Wenn man sich überlegt, dass Umweltschützer vor zehn Jahren den Automobilkonzernen noch vorwarfen (zu Recht oder nicht), sie würden zu wenig für den Einsatz alternativer Antriebsarten tun, so überschlagen sich zurzeit die Meldungen über neue Tests von Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen. Auch die Hybridtechnologie ist schon so gut wie überall in den Konzernplanungen integriert. Grundsätzlich scheint aber aktuell der Trend hin zum Elektroantrieb zu gehen. In welcher Form und mit welchen Auswirkungen ein Massengebrauch auftreten wird, vermag man aber nur schwer zu prognostizieren. Neben den immensen Förderprogrammen vieler Regierungen sind auch die direkten Vorteile des Elektroantriebs vielseitig: Kommt der Strom aus erneuerbaren Energiequellen, so bietet der Elektroantrieb nicht nur eine einwandfreie Umweltbilanz, er birgt auch weitere Vorteile, wie zum Beispiel die Verringerung der starken Lärmbelastigung der Bevölkerung aus dem Verkehrssektor. Zusätzlich sollen zukünftige Batterie- und Elektroautogenerationen zum Schwankungsausgleich in Stromnetzen, die zurzeit durch die hohe Volatilität der Energiegewinnung aus Wind und Sonne stark strapaziert werden, beitragen. Die langfristige Vision ist, wenn die Batterietechnologie es zulässt, bei Bedarfsspitzen auch Strom aus geparkten Autos zurück ins Netz zu speisen. Dann wäre die Symbiose aus Elektromobilität, Sonne und Wind perfekt.

¹¹ Strafen für die Automobilhersteller bei Nicht-Einhaltung der Grenzwerte.
¹² BDEW/VDA/ZVEI (2009).

1.3 Trends in der Luftfahrt und im Schienenverkehr

»Gestern war es ein Traum, heute ist es ein Solarflugzeug, und morgen wird es ein Botschafter der erneuerbaren Energien sein.« So präsentierte Bertrand Picard vor wenigen Monaten mit seinem Freund André Borschberg das erste Flugzeug, das nur mit Sonnenkraft betrieben wird. Mit ihrem leichtgewichtigen Riesen »HB-SIA« wollte Picard, der eine Mischung aus Abenteurer, Flugpionier und Marketinggenie ist,¹³ seinen Zuhörern zeigen, dass nichts unmöglich ist und die Zukunft auch im Fliegen den erneuerbaren Energien gehört. Das Spektrum möglicher Innovationen liegt in der Luftfahrt nahe dem von Kraftfahrzeugen. Gerade im Bereich der Antriebstechnologien sind viele Parallelen, aber auch einige Unterschiede zu finden. Und da sich der Schienenverkehr immer mehr zu einem starken und vor allem umweltfreundlichen Konkurrenten des Straßenverkehrs (besonders im Bereich des Güterverkehrs) entwickelt, darf ein kurzer Ausblick auf mögliche Entwicklungen auch hier nicht fehlen.

Die Luftfahrt

Die zivile Nutzung der Luftfahrt ist in den letzten 20 Jahren jährlich um durchschnittlich 5,4 % gestiegen,¹⁴ ein Wachstum, das auch über 2030 hinaus anhalten soll.¹⁵ Betrachtet man den gesamten Anteil der zivilen Luftfahrt an den durch den Menschen verursachten Treibhausgasen, so fällt schnell auf, dass dieser wesentlich geringer ist als zumeist angenommen. Während die energieerzeugende Industrie/Energiewirtschaft mit 41% 2004 noch den größten Anteil an menschlich verursachten Kohlendioxid aufwies, war die Transportwirtschaft nur mit 20 % auf Platz zwei. Betrachtet man jedoch den Transportsektor etwas genauer, so fielen nur 13 % aus diesem Bereich auf die Luftfahrt. Den größten Teil macht immer noch der Straßenverkehr (74 %) aus. Dieser Bereich bietet daher auch das größte Potenzial, durch das Vorantreiben »grüner« Lösungen die Umwelt zu schonen und vor allem die immer knapper werdenden Ressourcen zu wahren.

Dennoch arbeitet auch die Luftfahrtindustrie daran, die durch sie verursachten Treibhausgase zu reduzieren. Obwohl über die letzten 50 Jahre der Treibstoffverbrauch (gerechnet pro Sitz) in der Luftfahrt um mehr als 70% reduziert wurde,¹⁶ gibt es noch immer reichlich Potenzial, da das Ziel eines CO₂-neutralen Wachstums mit den stetig steigenden Wachstumsraten im Bereich der Luftfahrt nur durch weitere Einsparungen erreicht werden kann. Aktuelle Trends zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes in der Luftfahrt können in vier Kategorien betrachtet werden: Luft- und Bodensteuerung sowie Entwicklungen an den Flugzeugen und deren Antriebstechnologien.

Luftsteuerung

Kurzfristig wird erwartet, dass das aktuelle Air-Travel-Management(ATM)-System durch ein moderneres und kosteneffizienteres System ausgetauscht wird. Langfristig können sich die Experten eine gemeinsame Nutzung und Steuerung von zivilen und militärischen Lufträumen, eine verbesserte Luftraumaufteilung für Kurz- und Langstreckenflüge, symbiotische Flüge¹⁷ sowie Luftbetankun-

¹³ Besonderes Augenmerk bekam der 51-jährige Picard schon vor zehn Jahren, als er nonstop mit einem Ballon um den Globus reiste.

¹⁴ ESG Aviation Services (2008).

¹⁵ FESG (2008).

¹⁶ Babikian/Lukachko/Waitz (2002).

¹⁷ Flüge in enger Formation.

Verteilung der durch den Menschen verursachten CO₂-Emissionen

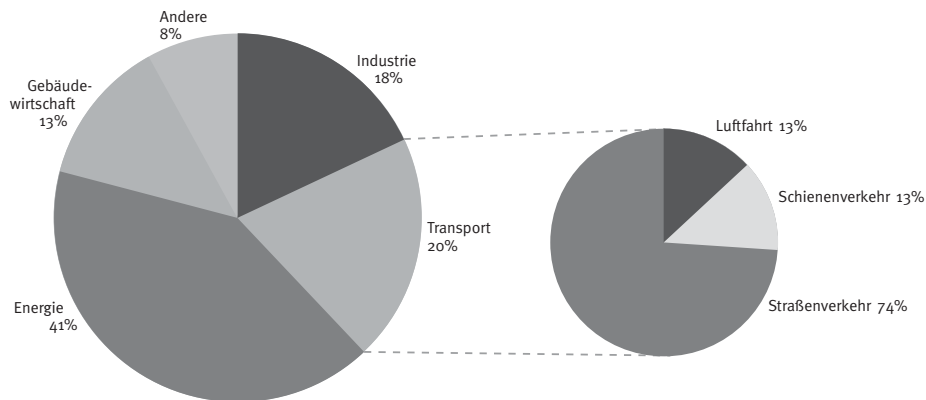


Abb. 16

Quelle: Felming/Colwell/Morrison/Calhoun (2009).

gen vorstellen. Hierdurch soll die Luftfahrt durch kürzere und energiesparende Routen, aber auch das Wegfallen unnötiger Lande- und Startprozeduren energie- und auch kostensparsamer werden.

Bodensteuerung

In der nächsten Zeit werden die aktuellen Flughafengebäude energiesparend umgerüstet, und es wird vermehrt zum Einsatz von Biokraftstoffen beim Bodenequipment, LED-Leuchten für die Flugbahnen und Elektroautos im Bodenverkehr kommen. Längerfristige Ideen spielen sich in den Bereichen einer optimierten Neuaufstellung von Flughäfen,¹⁸ bodenbetriebener Startvorrichtungen und neuer Oberflächensysteme ab.

Flugzeuge

Bei der umweltschonenden Entwicklung von Flugzeugen unterscheidet man zunächst die Entwicklung der Antriebstechnologien von den eigentlichen Flugzeugen. Kurzfristig wird erwartet, dass Flugzeuge eine verbesserte Aerodynamik und leichtere Materialien aufweisen werden. Über das Jahr 2030 hinaus kann man zumindest von der Weiterentwicklung solcher Ideen bis hin zu Blended-Wing-Bodies¹⁹ sowie verbundenen oder ringförmigen Flügeln, Glidern und Wasserstoffflugzeugen, die den Treibstoff sogar in der Luft selbst herstellen könnten, ausgehen. Bezüglich der Antriebstechnologien können wir mittelfristig Verbesserungen bei den Turbofan-Triebwerken, wieder offene Rotoren und den Einsatz alternativer Kraftstoffe (synthetischer, Bio-, aber auch Dieselkraftstoff) erwarten. Langfristig wird ein komplettes Abschaffen der Turbofan-Triebwerke und der Einsatz von Nuklearenergie, Wasserstoff- und Elektromotoren erwartet. Auch im Bereich des Magnetismus und des Senkrechtstarts beziehungsweise entsprechender Landung wird geforscht. Die folgende Abbildung fasst die möglichen Entwicklungen bei Flugzeugen unter den Aspekten »Potenzial der CO₂-Reduktion« und »Unternehmensrisiko/Entwicklungsaufwand« zusammen.

¹⁸ Sowohl die Struktur als auch die Standorte – Küstennähe und schwimmende Flughäfen sind hier tragende Stichworte.

¹⁹ Blended-Wing-Body-Flugzeuge verbinden die Merkmale von herkömmlichen Flugzeugen (Rohr plus Flügel) mit Eigenschaften von Modellen, die nur aus Flügeln bestehen.

Mögliche Technologien für drei verschiedene Szenarien

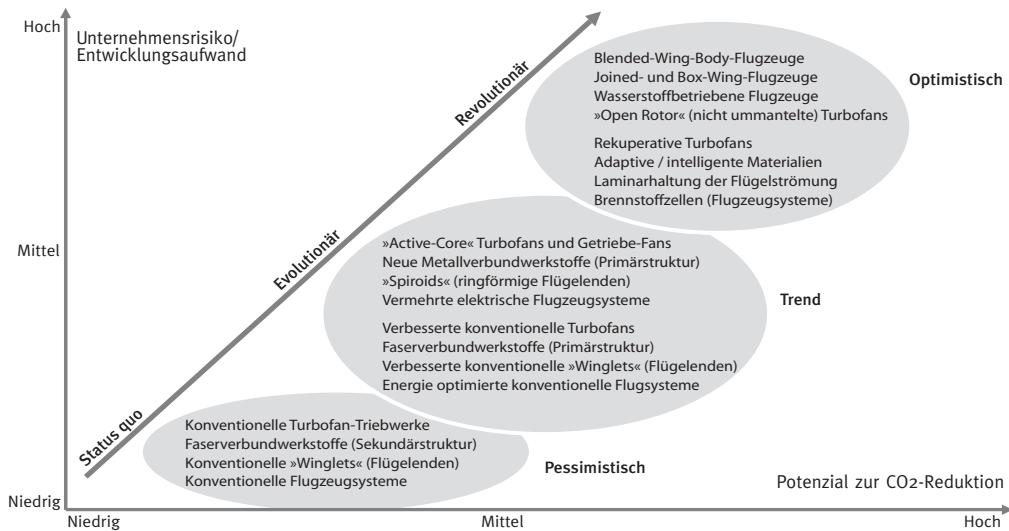


Abb. 17

Quelle: Apffelstaedt/Langhans/Gollnick (2009).

Zusätzlich sind noch drei Phasen aufgezeigt, welche die Wahrscheinlichkeiten für die jeweiligen Entwicklungen darstellen sollen. Während der erste Bereich ein pessimistisches Zukunftsszenario im Bereich der Neuerungen darstellt, verspricht das Trendszenario (den hier aufgeführten Entwicklungen werden die größten Wahrscheinlichkeiten eingeräumt) zwar schon einige Neuerungen, aber so revolutionäre Entwicklungen wie zum Beispiel Blended-Wing-Body-Flugzeuge finden sich nur in einem wirklich optimistischen Szenario, dessen Wahrscheinlichkeiten geringer sind. Solche Neuerungen kann man dann schon als wirkliche Zukunftsvisionen beschreiben.

Der Schienenverkehr

Schienennetze

In Europa hat der Schienenverkehr in den letzten 30 Jahren drastisch Anteile an den Straßenverkehr verloren und das, obwohl im Zeitraum von 1960 bis 2000 der gesamte Güterverkehr auf das Doppelte (1 341 Mrd. Tonnen) anstieg. Eines der Hauptprobleme in Europa ist, dass es vier verschiedene Strom- und über 20 unterschiedliche Signalisationssysteme gibt. Daher finden an den Grenzen oftmals sowohl Lokwechsel als auch die sogenannte Vertrauensübergabe (unter anderem Wechsel des Fahrpersonals, Überprüfung der Fahrtüchtigkeit, Bezettelung der Wagen) statt.²⁰ Dadurch ergab sich eine durchschnittliche Geschwindigkeit von Güterzügen im europäischen, grenzüberschreitenden Verkehr von nur 18 km/h (in den USA sind es 40 km/h).²¹

Bis 2030 aber ist zu erwarten, dass mit enormen Investitionen mehr als 30 000 km interoperable Korridore in Betrieb sind und somit den Betrieb ohne Lokwechsel ermöglichen. Des Weiteren werden die Regelwerke europaweit vereinheitlicht, die Betriebserlaubnisse für Eisenbahnfahrzeuge

²⁰ IFMO (2006).

²¹ Umweltbundesamt (2001).

könnten in Zukunft von einer internationalen Aufsichtsbehörde erteilt werden. Zusätzlich wird das Schienennetz für private Anbieter der anderen Mitgliedsstaaten weiter geöffnet, was in Europa bald zu ca. 150 international operierenden europäischen Verkehrsunternehmen führen wird. Dies wiederum hat zur Folge, dass der Straßenverkehr entlastet und die CO₂-Emissionen reduziert werden. Der innereuropäische Tourismus mit der Bahn erfährt dann ebenso wie der Gütertransport eine Steigerung und lässt Europa zu einem einheitlichen Verkehrsraum zusammenwachsen.

Züge

Im Bereich der Lokomotive werden wir in naher Zukunft wohl den Einsatz von hybriden Antriebssystemen, Brennstoffzellen, E-Traktion²² und die Navigation via Satellit erwarten können.²³ Des Weiteren finden wir schon jetzt den Einsatz von leichteren Materialien (zum Beispiel Aluminium bei Metrozügen) und neuartigen Bremssystemen, die das Einspeisen der durch das Bremsen gewonnenen Energie zurück ins Netz ermöglichen. Auch im Bereich der Herstellung und dem Verwenden von nichtrecyclebaren Materialien werden ständig Fortschritte verzeichnet. Sollten jetzt noch die neuesten Entwicklungen zur Lärmreduktion verwirklicht werden, wird der Schienenverkehr allmählich wieder eine starke Konkurrenz zum Straßenverkehr. Die Entwicklung verkehrsträgerübergreifender Mobilitätskonzepte wird somit Jahr für Jahr interessanter.

Im Bereich der Antriebstechnologien kann man also ähnliche Trends erwarten, wie das bei den Flugzeugen und Automobilen der Fall ist. Dennoch muss man vorsichtig sein, erste positive Meldungen, wie zum Beispiel die erfolgreichen Tests beziehungsweise den Einsatz von Wasserstofflokomotiven im Bergbau, als Trendindikatoren für andere Bereiche zu deuten. Sowohl die Einsatzmöglichkeiten als auch die Anforderungen an die einzelnen Fahrzeuge sind sehr unterschiedlich.

²² Rein elektrischer Antrieb von Schienenfahrzeugen.

²³ Siehe Kasten 10.

Keine Lok wie jede andere

In den USA wurde jetzt die erste Großlokomotive (127 Tonnen schwer) getestet, die ausschließlich mit Wasserstoff und Strom fährt. Zur Speicherung der Energie, die von zwei 150-kW-Brennstoffzellen erzeugt wird, werden Bleiakkus verwendet, die fast die Hälfte von der Größe der Lok ausmachen. Bleiakkus wurden aufgrund ihres Kostenvorteils verwendet, und der Nachteil der schwächeren Leistung pro Kilogramm gegenüber den teuren Metallhybrid-Akkus ist in diesem Fall sogar ein Vorteil: Um das Durchdrehen der Räder solcher Rangierloks zu verhindern, wurden in diesem Fall sogar noch neun Tonnen Ballast im ehemaligen Dieseltank der Lok untergebracht. Kurzfristig soll die Lok mithilfe der Akkus 1,1 Megawatt bereitstellen, was der Zugkraft einer 2000-PS-Lok entsprechen soll. Besonders die Energieeffizienz der neuen Lok ist besser als die gewöhnlicher Dieselloks (70 % der Primärenergie werden in Kraft umgewandelt, im Gegensatz zu 35 bis 40 %).²⁴ Schon bald soll die neue Hybridlok auf einem Rangierbahnhof in Los Angeles eingesetzt werden.

Kasten 10

²⁴ Vgl. Barnes/Erickson/Hess/Miller (2007).

2. Herausforderungen und bisherige Markteinführungen der Automobilanbieter

2.1 Elektromobilität – Herausforderungen für Traditionshersteller

Die in Teil A der vorliegenden Studie beschriebenen zukünftigen Mobilitätstrends in der Automobilindustrie werden teilweise weitreichende Konsequenzen für die Automobilhersteller haben. Nicht umsonst konstatieren Automobilmanager wie der ehemalige Vorstandsvorsitzende des Automobilzulieferers Continental, Karl-Thomas Neumann, dass das Elektroauto einen technologischen Umbruch markiert, der die etablierten Geschäftsmodelle der Autoindustrie vor Herausforderungen stellt.²⁵ Unserer Einschätzung nach werden sich die traditionellen Automobilhersteller mit drei zentralen Herausforderungen auseinandersetzen müssen:

Wegfallende Möglichkeiten zur Markendifferenzierung

Die Autokonzerne werden sich Gedanken darüber machen müssen, wie künftig die eigenen Marken beziehungsweise die eigenen Produkte am Markt platziert werden sollen, damit diese sich vom Wettbewerb positiv absetzen und einen Mehrwert für den Kunden liefern. Bisher erfolgte dies über quantitative und qualitative Merkmale wie zum Beispiel Motorleistung, Fahrwerkseigenschaften, Servicequalität und Motorakustik. Dies dürfte in den nächsten Jahren immer weniger der Fall sein, da sich die Fahrzeuge weiter angleichen. Daneben werden einige Merkmale bei bestimmten alternativen Antriebskonzepten wie zum Beispiel dem Elektroauto als Differenzierungskriterien wegfallen. So verliert Fachexperten zufolge beispielsweise der Motor gravierend an Bedeutung.²⁶ Welche Wege die Hersteller einschlagen werden, um sich in Zukunft von der Konkurrenz unterscheiden zu können, ist aus heutiger Sicht noch offen.

Finanzielle Doppelbelastungen

Und auch unter dem finanziellen Gesichtspunkt werden die anstehenden Umwälzungen in der Automobilindustrie die Hersteller fordern. Denn während die Branche zurzeit größtenteils Verluste erwirtschaftet, müssen die Konzerne Milliarden in die Forschung und (Weiter-)Entwicklung alternativer Antriebskonzepte (Hybrid-, Elektro- und Wasserstofffahrzeuge) investieren.²⁷ Daneben besteht noch hoher Kapitalbedarf im Zusammenhang mit dem Aufbau neuer beziehungsweise dem Umbau der bestehenden Produktionsstraßen. Und auch die Optimierung der herkömmlichen mit Otto- und Dieselmotoren angetriebenen Automodelle wird noch über Jahre hinaus sehr hohe Investitionen erfordern, da der Übergang ins Elektrozeitalter nicht von heute auf morgen vonstatten gehen wird. Zudem wird, über diesen längeren Zeitraum betrachtet, die Fertigung von Personenkraftwagen mit Verbrennungsmotor für die Hersteller aufgrund der rückläufigen Stückzahlen teurer. Die Traditionshersteller werden somit über einen längeren Zeitraum doppelt belastet, während junge, aufstrebende Unternehmen, die im automobilen Markt der Zukunft Fuß fassen wollen, im Vorteil sind, da sie sich in der Regel nur auf alternative Antriebskonzepte konzentriert haben und keine Mittel in die Weiterentwicklung benzin- oder dieseltreibender Fahrzeuge investieren

²⁵ Handelsblatt (2009).

²⁶ Automobil-Industrie Vogel (2008).

²⁷ Handelsblatt (2009).

müssen. Sie müssen keine »alten Zöpfe abschneiden, denn sie haben keine«, zitiert die Fachpresse die treffende Formulierung eines Brancheninsiders.²⁸

Sinkende Markteintrittsbarrieren

Zusätzlicher Druck droht den Traditionsherstellern auch noch von den deutlich sinkenden Markteintrittsbarrieren. Bisher verhinderte die kostenintensive Entwicklung von Motoren, Getrieben und Antriebssystemen vielfach den Markteintritt neuer Anbieter. Beim Elektroauto hingegen sind große Bereiche der bisherigen Fertigung inklusive der herkömmlichen Motorenproduktion überflüssig. Das Elektrofahrzeug benötigt kein herkömmliches Getriebe mehr, und die Antriebsstränge verändern sich signifikant.²⁹ Es entfallen Fahrzeugteile wie Kupplung, Schalldämpfer, Katalysator, Anlasser, Lichtmaschine und die Wasserkühlung. Investitionen in den Elektromotor dürften auch in Zukunft neue Start-ups nicht von einem Markteintritt abschrecken, da diese sich aufgrund des als ausgereift geltenden Elektromotors in Grenzen halten sollten. Elektroautos besitzen einen hohen Effizienzgrad von etwa 97 % von der Batterie zum Motor.³⁰ Zum Vergleich: Der Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren liegt bei knapp 30 % und damit deutlich unter dem Vergleichswert des Elektromotors.³¹ Zudem können Elektroautohersteller die Batterie und den Elektromotor selbst von Drittanbietern beziehen.

Nicht wenige Traditionshersteller wird diese Gemengelage in Existenznot bringen. So geht der Technik-Chef des kanadisch-österreichischen Zulieferers Magna, Burkhard Göschel, sogar davon aus, dass viele Hersteller und auch Zulieferer vom Markt verschwinden werden. Opel zum Beispiel kann sich seiner Einschätzung nach die Entwicklung eines Elektroautos, so wie viele kleinere Autobauer, alleine nicht leisten. Er geht davon aus, dass die Entwicklungskosten für das Elektroauto in Zukunft vermehrt auf Zulieferer abgewälzt werden, was dazu führt, dass auch bei den Zulieferern nur noch die großen Unternehmen und die extremen Spezialisten überleben können. Jenseits der Premiumklasse kommt es nach Ansicht des Automobilmanagers zu einer Annäherung der Hersteller. Göschel ist sich sicher, dass Produzenten wie Volkswagen mittelfristig ihre Komponentenwerke abstoßen werden. In Zukunft soll es ihm zufolge einen Einheitsmotor mit vier Zylindern, Direkteinspritzung und Aufladung bei den Mainstream-Herstellern geben. Auch Getriebe und Achsen würden künftig als Einheitsteile von Zulieferern entwickelt und von zahlreichen Herstellern genutzt.³²

2.2 Bisherige Markteinführungen der Automobilhersteller

Obwohl die Vorstellung des ersten Elektroautos schon sehr lange zurückliegt, steckt die automobiler Antriebstechnologie Elektromotor, zumindest was die Anzahl der eingeführten Elektroautos und die Verkaufszahlen anbelangt, noch immer in den Kinderschuhen. Und dies, obwohl bereits am 29. April 1882 Werner von Siemens in Halensee bei Berlin einen elektrisch angetriebenen Kutschenwagen – Elektromote genannt – auf einer 540 m langen Versuchsstrecke vorführte. Es war nicht nur

²⁸ Automobil-Industrie Vogel (2008).

²⁹ Unternehmer.de (2009).

³⁰ NABU (2008).

³¹ Bockhorst (1999–2009).

³² Auto.de (2009).

das erste Elektromobil, sondern auch der erste Oberleitungsbus der Welt. Wenngleich es bereits über ein Jahrzehnt Hybridfahrzeuge gibt, werden sie nach wie vor nur in geringen Stückzahlen verkauft. Laut dem US-amerikanischen Informationsanbieter R. L. Polk & Co wurden in den weltweit größten Märkten bis August 2008 rund 370 000 Hybridfahrzeuge neu registriert. Zum Vergleich: Im gesamten Jahr 2008 sind alleine in den USA 13,2 Millionen Automobile verkauft worden.³³

In der Hybridtechnologie sind bisher die asiatischen Autohersteller und hier im Speziellen Toyota und Honda führend. Das breiteste Spektrum (sieben Hybridmodelle) bietet Toyota an. Dessen Limousine Prius I wurde bereits Ende 1997 am Markt eingeführt. Hierbei handelt es sich um einen Hybrid-Personenkraftwagen mit Benzin/Elektro-Hybridantrieb.³⁴ Der Prius war das weltweit erste Hybridfahrzeug in Großserie, und auch bei Premium-Limousinen und Geländewagen war Toyota Pionier und setzte als erster Autobauer die Hybridtechnik in diesen Segmenten ein. Mittlerweile wird der Prius in der dritten Modellgeneration vertrieben und verkauft sich nach wie vor gut. Während der amerikanische Pkw-Markt mit rückläufigen Absatzzahlen zu kämpfen hat, scheint der Prius Hybrid in den USA zum Erfolgsmodell zu werden. Bereits zur Markteinführung müssen Käufer bis zu einem Jahr auf die Auslieferung ihres Fahrzeugs warten (Stand Juni 2009). Da die Fertigungskapazität des Prius-Werks in Japan bereits ausgelastet ist, wird Toyota laut New York Times die wegen der Wirtschaftskrise eingestellten Planungen für ein Hybrid-Werk in den USA wieder aufleben lassen. In Japan wurden im Mai 2009 mehr als 110 000 Einheiten des Hybridfahrzeugs verkauft, für die USA rechnet das Unternehmen mit einer Nachfrage von 200 000 Prius-Modellen und weltweit mit 400 000 Einheiten pro Jahr.³⁵

Im für Hybridfahrzeuge wichtigen US-Automarkt stehen mit dem Prius und dem Camry folgerichtig zwei Hybridmodelle von Toyota an der Spitze der Absatzstatistik. Damit liegen die Verkaufszahlen des Vorzeigemodells zwar noch deutlich hinter dem Toyota Corolla beispielsweise, aber immerhin vor dem VW Jetta. Für Toyota hat es sich somit ausgezahlt, an der Hybridtechnik festgehalten zu haben. Allerdings kann der Prius nur durch Quersubvention zu marktfähigen Preisen verkauft werden. Allerdings profitiert Toyota vom positiven Imageeffekt und der technologischen Führerschaft, die ursprünglich der deutsche Automobilhersteller Audi innehatte.³⁶ Auch auf dem für Hybridfahrzeuge immer wichtiger werdenden europäischen Markt hat Toyota eine führende Position. Einige Hybridmodelle von Lexus verkaufen sich in Europa sogar besser als in den USA oder auf dem Heimatmarkt Japan.

Auch der Konkurrent Honda bietet seit geraumer Zeit Hybridfahrzeuge an. Auf den Plätzen drei und vier der US-Automarktstatistik erscheinen die beiden Hybridmodelle Civic und Insight des japanischen Automobilherstellers Honda. Es sind dies der Honda Civic sowie der Honda Insight.³⁷ Der Kompaktwagen Civic wird seit 2004 gebaut.³⁸ Bereits 1999 kam mit dem Insight Honda das erste Hybridmodell in Serie auf den Markt. Zum damaligen Zeitpunkt wurde das sehr teure Fahrzeug kaum gekauft.³⁹ Das Coupé war das erste kommerziell produzierte benzinelektrische

33 USA TODAY (2009).
34 Manager Magazin (2009).
35 Autoblog (2009).
36 Manager Magazin (2009).

37 Hybridcars (2009a).
38 Blessing (2009).
39 Vgl. Schneider (2009).

Hybridfahrzeug in Europa und in Nordamerika. Ende April 2009 begann auch in Deutschland der Verkauf des neuen Insight, der in Japan kurz nach seinem Marktstart am 5. Februar 2009 imposante Verkaufszahlen aufweist.

Im Vergleich zu den Konkurrenten Toyota und Honda sind Mazda und Nissan leicht ins Hintertreffen geraten. Mazda bietet amerikanischen Kunden seit 2007 ein Hybrid-SUV an. Eine Markteinführung in Europa ist derzeit allerdings nicht vorgesehen.⁴⁰ Nissan kombiniert im Mittelklassewagen Altima einen Benzinmotor mit einem Elektromotor. Der Altima ist das erfolgreichste Nissan-Modell in den USA. Wie der Konkurrent Mazda verkauft Nissan den Altima Hybrid (Markteinführung war 2007) nur in acht US-Bundesstaaten mit besonders strengen Abgasvorschriften.⁴¹

Die deutschen und europäischen Autohersteller sind in den Absatzstatistiken für Hybridfahrzeuge (noch) nicht zu finden. Immerhin ist Daimler mit dem Mercedes Benz S 400 HYBRID erfolgreich gestartet. Noch vor der offiziellen Händlerpremiere am 26. Juni 2009 entschieden sich bereits rund 15 % der S-Klasse-Kunden für die Hybridversion.⁴² Aktuell bietet der Stuttgarter Autokonzern zwei Hybridfahrzeuge an. Neben dem S 400 BlueHYBRID, der weltweit sparsamsten Luxuslimousine mit Otto-Motor, wird noch der Mercedes SUV ML 450 HYBRID vertrieben.⁴³ Dieser Geländewagen basiert auf den Grundlagenarbeiten der »Global Hybrid Cooperation«, des Zusammenschlusses der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von BMW, Chrysler, Daimler und General Motors. Das speziell für den nordamerikanischen Markt konzipierte Fahrzeug ist das effizienteste in seinem Segment. Mit der Einstufung als SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) erfüllt das SUV die zurzeit strengste US-amerikanische Abgasnorm für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Die Leistungsdaten (250 kW beziehungsweise 340 PS) liegen auf dem Niveau eines klassischen 8-Zylinder-SUV mit permanentem Allradantrieb, Verbrauch und Emissionen dagegen um bis zu 60 % darunter.⁴⁴

Als einer der eigentlichen Vorreiter in der Hybridtechnologie ist auf deutscher Seite Audi zu nennen. Der auf dem A4 Avant basierende Duo war das erste in Europa serienmäßig angebotene Hybridfahrzeug und wurde ab 1997 zu einem Preis von 60 000 DM verkauft. Aufgrund der geringen Nachfrage wurde die Produktion 1998 gestoppt. Im Duo wurde ein Dieselmotor mit einem Elektromotor kombiniert, als Energiespeicher wurde eine Bleibatterie verwendet. Bereits dieses Fahrzeug konnte mit einem Kabel an eine Steckdose angeschlossen werden, um die Batterie aufzuladen.⁴⁵

Wie die europäischen hinken auch die amerikanischen Automobilhersteller bisher dem Trend zu sparsamen Automobilen mit alternativem Antrieb hinterher. Der gerade aus der Insolvenz zurückgekehrte US-Autobauer General Motors führte sein erstes Hybridfahrzeug erst 2004 auf dem amerikanischen Markt ein und bietet ebenso wie Ford bisher nur zwei Modelle an.⁴⁶

Die Produktions- und Verkaufszahlen reiner Elektroautos befinden sich noch weit unter denen der Hybridfahrzeuge (siehe Abb. 18). Dies dürfte vor allem auf den hohen Preis, sicherlich aber auch

40 Vgl. Blessing (2009): <http://www.hybrid-autos.info/hybrid-fahrzeuge/mazda/tribute-hev-2007.html>

41 Vgl. Blessing (2009): <http://www.hybrid-autos.info/hybrid-fahrzeuge/nissan/altima-hybrid-2007.html>

42 Vgl. Supplier Park (2009).

43 Vgl. Blessing (2009): <http://www.hybrid-autos.info/hybrid-fahrzeuge/mercedes/s400-bluehybrid-2008.html>

44 Vgl. Blessing (2009): <http://www.hybrid-autos.info/hybrid-fahrzeuge/mercedes/mercedes-benz-ml-450-hybrid.html>

45 Vgl. Blessing (2009): <http://www.hybrid-autos.info/hybrid-fahrzeuge/audi/audi-duo-hybrid-1997.html>

46 Vgl. Blessing (2009): <http://www.hybrid-autos.info/hybrid-fahrzeuge/chevrolet/chevrolet-silverado-hybrid-2004.html>

auf die noch lückenhafte Infrastruktur zurückzuführen sein. Daher stellen wir hier nur zwei Hersteller vor: das 2003 gegründete US-amerikanische Unternehmen Tesla Motors und die norwegische Firma Think.

Teslas Sportwagen Roadster, dessen Preis bei 92 000 US-Dollar liegt (ursprünglicher Verkaufspreis bei Einführung: 109 000 US-Dollar), verfügt über einen Elektromotor und als Energiequelle Lithium-Ionen-Akkus. Die Reichweite des Fahrzeugs liegt bei ca. 400 km und die Ladezeit bei ungefähr 3,5 Stunden.⁴⁷ Jährlich werden bei Tesla derzeit rund 1 000 Autos gefertigt, und im Juni 2009 feierte das Unternehmen Premiere: Der 500. Roadster wurde bis dahin in den USA verkauft. Die Auslieferungen in Europa begannen noch im Sommer. Ende Juni hat das Unternehmen zudem mit der Produktion des Roadster Sport begonnen, eines noch leistungsstärkeren Modells, das in nur knapp vier Sekunden von 0 auf 100 km/h beschleunigt.⁴⁸

Der Kleinstwagen Think City von Think ist als Stadtfahrzeug konzipiert und weist eine maximale Reichweite von 180 km auf (ca. 125 km bei der Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h). Zum Einsatz kommt ein 40 PS starker Elektromotor. Dieses Elektroauto übertrifft die Elektrofahrzeuge früherer Bauweise um etwa das Doppelte. Zum Einsatz kommt ein Natrium-Nickelchlorid-Akku.⁴⁹

47 Vgl. Blessing (2009): <http://www.hybrid-autos.info/elektrofahrzeuge/tesla/tesla-roadster-2006.html>

48 Autoblog (2009).

49 Vgl. Elektroauto Portal (2009).

Produktion von Elektroautos, 2009

BYD (Indien)	1650
Think (Norwegen)	1362
Tesla (USA)*	1000
Mini (Deutschland)	422
Geely (China)	377
Mitsubishi (Japan)	268
Piaggio (Italien)	213
Smart (Deutschland)	200
Subaru (Japan)	190
Harbin Hafei (China)	119
Tata (Indien)	29

*eigene Schätzung

Abb. 18

Quelle: IHS Global Insight (2009).

3. Zulieferindustrie

3.1 Zulieferindustrie vor großem Strukturwandel

Die Zulieferindustrie im Automobilbereich steht vor durchgreifenden Veränderungen. Auf der 63. Internationalen Automobil-Ausstellung (IAA) waren aufgrund endlicher Ölreserven und CO₂-Reduzierungsbestrebungen Hybrid- und Elektroautos das beherrschende Thema. Hier stehen insbesondere deutsche Zulieferfirmen vor dem größten Strukturwandel in ihrer Geschichte.

Wie bereits in Teil B, Kapitel 2.1 erwähnt, werden sich Autos in Zukunft weniger über den Motor beziehungsweise dessen Effizienz differenzieren. Beim Elektroauto werden viele Komponenten wegfallen, die bisher die Domäne von Zulieferbetrieben waren. Das größte Innovationspotenzial liegt in der Weiterentwicklung von Batterien oder der Elektronik. Hier sind noch die größten Sprünge in der Reichweite, Energiedichte, Sicherheit, Ladezeit und Form durch Innovation möglich. Zudem sind die Batterien im Verhältnis zur Leistung preislich noch nicht konkurrenzfähig zu fossilen Brennstoffen. Nur Zulieferer, die Automobilherstellern hier innovativen Mehrwert durch eine Verbesserung in diesen Punkten bieten können, haben eine gute Wettbewerbsposition.⁵⁰

Eine Untersuchung von McKinsey erwartet 140 000 neue Arbeitsplätze weltweit in Unternehmen, die Batterien herstellen und entwickeln. Doch gleichzeitig sollen 46 000 Jobs bei Herstellern von Motorenteilen, Getrieben und Abgasanlagen wegfallen.⁵¹ Zulieferer, die rechtzeitig auf die sich durchsetzenden Technologien setzen, haben glänzende Zukunftsaussichten. Deshalb konzentrieren wir uns in diesem Kapitel auf die Batteriesysteme.

3.2 Batterietechnologie

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Akkumulatortypen. Ein Akkumulator (oder kurz Akku) ist ein Speicher für elektrische Energie, meist auf Basis eines elektrochemischen Systems. Ein Akkumulator besteht entweder aus einer oder mehreren wiederaufladbaren Sekundär-Zellen, welche zur Erhöhung der Gesamtspannung in Reihe geschaltet werden. Folgende Tabelle gibt eine Übersicht der Energiedichte, des Wirkungsgrades sowie der Besonderheiten der verschiedenen Akkutypen im Vergleich zu Otto-Kraftstoffen. Lithium-Batterien zeichnen sich durch sehr hohe Zyklfestigkeit (Ladung/Entladung) aus. Sie stellen die Standardausrüstung in elektrischen Kleingeräten, bei denen erhöhte Anforderungen an das Leistungsgewicht gelegt werden (zum Beispiel Mobiltelefone und Laptop-PCs). In den letzten Jahren konnten Leistungsdichte, Energiedichte und Zyklfestigkeit weiter verbessert werden. Von daher bieten Lithium-Ionen-Akkus nach heutigem Technologiestand die besten Perspektiven für einen wirtschaftlichen Betrieb elektrischer Autos.⁵² Noch sind die Kosten für die Herstellung von Lithium-Ionen-Akkus sehr hoch. Die Produktionskosten einer Lithium-Autobatterie betragen ca. 800 bis 1 200 US-Dollar pro Kilowattstunde (kWh). Die im Mitsubishi Colt MiEV verbaute Lithium-Ionen-Batterie beispielsweise speichert 16 kWh, wiegt 200 Kilo und kostet mit 14 000 US-Dollar fast so viel wie ein herkömmlicher Kleinwagen.⁵³

⁵⁰ Vgl. Terpitz (2008).

⁵¹ Vgl. Rees/Kamp/Seiwert (2009).

⁵² Vgl. ADAC (2009).

⁵³ Ebenda.

Akkumulatortypen im Vergleich

Akkumulatortyp	Energiedichte Wh/kg	Wirkungsgrad	Besonderheit
Blei-Akkumulator	30	60–70 %	
Lithium-Ionen-Akkumulator	120–140	80 %	neuere Modelle schnellladefähig
Lithium-Polymer-Akkumulator	140	80 %	
Lithium-Titanat-Akkumulator	70–90	90–95 %	schnellladefähig
Lithium-Schwefel-Akkumulator	350	–	hohe Energiedichte
Natrium-Schwefel-Akkumulator	120	89 %	350 °C, keine Selbstentladung
Nickel-Cadmium-Akkumulator	40–60	70 %	EU-weit verboten
Nickel-Metallhydrid-Akkumulator	60–80	70 %	
Nickel-Wasserstoff-Akkumulator	75		
Zebra-Batterie (Natrium-Nickelchlorid-Akkumulator)	100–120	80–90 %	
Zum Vergleich: Dieselmotorkraftstoff	11.800	25 %	
Zum Vergleich: Superkraftstoff	12.000	15 %	

Abb. 19

Quelle: Buchmann (2007).

Der Rohstoff Lithium

Neben Kobalt, Nickel und Kupfer wird aller Voraussicht nach Lithium ein Hauptrohstoff für die Herstellung von Batterien der zukünftigen Generationen von Hybrid- und Elektroautos sein. Hier bahnen sich strukturelle Versorgungsdefizite an. Bisher sind noch keine anderen Rohstoffe bekannt, die die Energiedichte und den hohen Wirkungsgrad von Lithium in Batterien substituieren könnten. Die Nachfrage droht langfristig das Angebot deutlich zu übertreffen. Dies könnte zu erheblichen Preissteigerungen bei Lithium führen.

Lithium wird aus Salzseen und festen Ablagerungen gewonnen. Die größten Abbaugelände befinden sich in den südamerikanischen Anden, insbesondere in Chile, Argentinien, Brasilien, Bolivien sowie in Tibet. Auch die USA, China, Australien und Russland verfügen über nennenswerte Lithiumreserven.⁵⁴

Weltweit werden zurzeit pro Jahr ca. 93 000 Tonnen Lithium abgebaut. Lithium wird in Handy- und Laptopakkus sowie in Produkten vieler weiterer Industrien (zum Beispiel Glas, Keramik, Schmierstoffe oder Pharma) verwendet. Die erschließbaren Ressourcen liegen laut Meridian International Research allerdings bei nur 4 Mio. Tonnen.⁵⁵

Der Markt für Lithium ist sehr unübersichtlich, da es keine einheitlichen Verträge gibt. Durch die erhöhte Nachfrage aufgrund der Verwendung von Lithium in Batterien war in letzter Zeit jedoch ein Anstieg der Preise erkennbar. Eine Herausforderung stellt die schwierige Erschließbarkeit einiger Salzseen dar. Allerdings sind bis zu 98 % des Lithiums in Batterien durch Recycling wieder verwendbar.

Kasten 11

⁵⁴ Vgl. Hoelzgen (2009).

⁵⁵ Vgl. Meridian International Research (2007).

Die Forschung konzentriert sich heute neben der Erhöhung der Energiedichte und Sicherheit auch auf schnellere Ladezyklen. Forscher am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge, USA, arbeiten zum Beispiel an Lithium-Ionen-Akkus mit neuartigem Elektrodenmaterial (Lithium-Eisen-Phosphat – LiFePO₄).⁵⁶ Ein Akku aus diesem Material kann weitaus schneller geladen werden (in wenigen Sekunden) und Strom mit viel höherer Intensität abgeben. Diese neuartigen Akkus können Energiedichten zum Betrieb von Autos erzeugen, die bisher nur von herkömmlichen Treibstoffen wie Benzin und Diesel erreicht werden.⁵⁷

3.3 Batteriehersteller

Im Verlauf der Entwicklung zum Masseneinsatz sollte in den kommenden Jahren aus Kostengründen eine starke Konzentration auf wenige große Zulieferfirmen erfolgen. Die hohen Entwicklungskosten amortisieren sich nur bei großen Stückzahlen.⁵⁸

Die Entwicklung wird weltweit von zahlreichen Kooperationen zwischen internationalen Konzernen wie zum Beispiel Renault-Nissan und NEC oder Citroën-Peugeot und Mitsubishi vorangetrieben. Daneben gibt es eine Vielzahl kleiner Firmen, die Lithium-Ionen-Zellen für Anwendungen im Elektroauto entwickeln. Auch wenn diese in Nischenmärkten Erfolg haben dürften, sollten Firmen, die bereits in der Autosystemtechnik als Zulieferer aktiv sind und Erfahrung in der Massenherstellung haben, einen deutlichen Wettbewerbsvorteil haben.⁵⁹ Forschungsfirmen und Zulieferer wie zum Beispiel Altair Nanotechnologies, Quantum Technologies, A123 Systems oder Tesla Motors arbeiten und forschen an verschiedenen Zukunftstechnologien für die Serienproduktion. Allerdings ist noch keinem der Durchbruch gelungen.⁶⁰ Nachfolgend geben wir eine Übersicht – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – der wichtigsten Zulieferfirmen für Batteriesysteme in Hybrid- und Elektroautos.

3.3.1 Johnson Controls-Saft

Die beiden Unternehmen Johnson Controls und Saft haben ein Joint Venture mit dem Namen Johnson Controls-Saft (JC-S) zur Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien für Hybrid-, Plug-in-Hybrid- und Elektroantriebe gegründet.

Das amerikanische Unternehmen Johnson Controls ist ein weltweit führendes Unternehmen der Autozulieferindustrie, hauptsächlich für die Auto-Elektronik. Johnson Controls ist ein Marktführer bei Blei-Autobatterien mit einem Weltmarktanteil von ca. 35%.⁶¹ Die 1917 gegründete französische Firma Saft S. A. (Société des Accumulateurs Fixes et de Traction) wiederum ist Spezialist für Hightech-Batterien. Saft ist ein weltweit führender Hersteller von Nickel-Cadmium-Batterien für industrielle Anwendungen und von Lithium-Batterien für eine Vielzahl von Einsatzgebieten. Die Saft-Gruppe ist in Europa führend bei hoch entwickelten Energiesystemen für die Militär- und Raumfahrtindustrie.⁶²

56 Vgl. Gerbrand/Byoungwoo (2009).

57 Vgl. Brumfiel (2009).

58 Vgl. Buchenau/Gillmann (2009).

59 Vgl. Deutsche Bank (2008).

60 Vgl. Haglmüller (2009).

61 Vgl. Johnson Controls Inc. (2008).

62 Vgl. Saft Groupe S. A. (2007).

Anfang 2009 startete im französischen Nersac die weltweit erste Fabrik die Produktion von Lithium-Ionen-Autobatterien. Johnson Controls-Saft investierte 15 Mio. Euro in die Anlage. Damit ist das Joint Venture eines der ersten Unternehmen, die diese Art Batterien für die Automobilbranche produzieren. Die beiden Firmen unterhalten neben dem Werk in Nersac auch Forschungs- und Entwicklungszentren in Milwaukee, USA, sowie in Bordeaux, Frankreich, ebenso wie Systemintegrationszentren in Hannover, Milwaukee und Shanghai. In den USA baut JC-S momentan eine weitere Fabrik zur Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien für Hybrid- und Elektroautos. Diese entsteht am bereits existierenden Standort von Johnson Controls in Holland, Michigan. Die Kosten sollen sich auf insgesamt 220 Mio. US-Dollar belaufen.⁶³

JC-S hat zahlreiche Produktions- und Entwicklungsaufträge für weitere 16 Hybrid- und Elektroautos erhalten. Darunter zum Beispiel ein Auftrag von dem USABC Konsortium (US Advanced Battery Consortium)⁶⁴ von Chrysler, Ford Motors und General Motors, der im August 2006 abgeschlossen wurde, um Lithium-Ionen-Batterien für Hybridfahrzeuge zu entwickeln.

Das Joint Venture hat auch schon wichtige konkrete Zulieferaufträge gewonnen. Die Lithium-Ionen-Batterien von JC-S kommen in dem im Juli 2009 auf den Markt gekommenen Mercedes S 400 BlueHYBRID zum Einsatz und werden auch im 2010 erscheinenden BMW 7er Hybrid verwendet.⁶⁵ Durch den frühen Markteintritt und seine langjährige Erfahrung im Bereich Batterietechnologie ist das Gemeinschaftsunternehmen bestens positioniert, auch in Zukunft eine führende Rolle bei der Erforschung und Herstellung von Batteriesystemen für Elektrofahrzeuge zu spielen.

3.3.2 NEC

Der japanische Elektronikkonzern NEC hat ein Batterie-Joint-Venture mit dem Automobilhersteller Renault-Nissan geschlossen. 2007 haben die Partner die Gründung des Gemeinschaftsunternehmens Automotive Energy Supply Corporation (AESC) beschlossen.

AESC soll fortschrittliche Lithium-Ionen-Akkus für eine Vielzahl automobiler Anwendungen wie Hybrid- und Elektroantriebe sowie Brennstoffzellen-Fahrzeuge entwickeln und in Serie fertigen. Das Unternehmen NEC soll dazu seine Kompetenz in der Batterietechnologie und Elektrodenherstellung zur Verfügung stellen, während Nissan seine Erfahrung im Fahrzeugbau beisteuert.

Das Gemeinschaftsunternehmen investiert über einen Zeitraum von drei Jahren ca. 115 Mio. US-Dollar in die Fertigungsanlage im Nissan-Werk Zama, Kanagawa, Japan. Die Produktionskapazität ist auf 65 000 Einheiten pro Jahr ausgelegt. Zusätzlich wird NEC TOKIN in den nächsten drei Jahren an seinem Standort Sagamihara, Kanagawa, Japan, ca. 105 Mio. US-Dollar in die Produktion von Lithium-Mangan-Elektroden investieren. Batterien mit dieser Technologie sollen auch an andere potenzielle Kunden in der Automobilindustrie vermarktet werden.

⁶³ Vgl. Saft Groupe S.A.

⁶⁴ Das US Advanced Battery Consortium (USABC) ist ein Konsortium unter dem Dach von »The United States Council for Automotive Research (USCAR)« von drei großen amerikanischen Autofirmen (GM, Ford und Chrysler) – zum Teil finanziert vom US Department of Energy –, das Anfang der 90er-Jahre gebildet wurde, um die amerikanische Wettbewerbsfähigkeit im Bereich Elektro- und Hybridautos zu stärken. Ziel ist es, die Forschung und Entwicklung von Batterien für Elektroautos zu fördern. Diese sollen langfristig nicht mehr als 20 US-Dollar pro kWh kosten.

⁶⁵ Vgl. Deutsche Bank (2008).

Erstmals auf den Markt kommen werden die neuen Lithium-Ionen-Batterien von AESC in diesem Jahr in kleineren Gabelstaplern. Danach folgen ab 2010 das für die USA und Japan vorgesehene Nissan-Elektroauto sowie das erste Nissan-eigene Hybridfahrzeug.⁶⁶

AESC ist außerdem zum Lieferanten von Lithium-Ionen-Batterien für das Project Better Place⁶⁷ ernannt worden. Zusammen mit der Renault-Nissan-Allianz strebt das Project Better Place 2011 den umfassenden Einsatz von Elektrofahrzeugen in Israel und Dänemark an. Mit einer geplanten Jahreskapazität von jeweils 60 000 Batterie-Einheiten sollen die beiden Batteriewerke in Großbritannien und Portugal die für die künftigen Elektrofahrzeuge notwendigen Akkus der Automobilhersteller Nissan und Renault liefern.

Im Juni dieses Jahres hat Nissan vom US Department of Energy (DOE) einen Kredit über 1,6 Mrd. US-Dollar für den Bau von Fertigungsanlagen für Elektroautos und deren Batteriesysteme an seinem Standort in Smyrna, Tennessee, zugesagt bekommen. Der Kredit ist Teil des »Advanced-Technology-Vehicles-Manufacturing-Loan-Program (ATVMLP)« des DOE über insgesamt 25 Mrd. US-Dollar, das vom Kongress 2007 beschlossen wurde. Die geplante Fabrik soll eine Produktionskapazität von 150 000 Elektroautos und 200 000 Batteriesystemen pro Jahr haben. Die ersten Fahrzeuge sollen 2012 vom Band laufen.⁶⁸ Die Erfahrung und Expertise von NEC bei der Entwicklung von Lithium-Mangan-Batterien und von NEC TOKIN auf dem Gebiet der Elektroden-Technologie stellen einen wichtigen Wettbewerbsvorteil des Joint Ventures dar.

3.3.3 Evonik

Die deutschen Unternehmen Evonik Industries und Daimler haben Ende 2008 das Joint Venture mit Namen »Deutsche Accumotive« zur Entwicklung und Fertigung von Lithium-Ionen Akkus für Pkws, Busse und Nutzfahrzeuge gegründet. Zusätzlich hat sich Daimler zur Hälfte an Li-Tec, einer Tochter von Evonik, beteiligt. Evonik hat in den vergangenen Jahren bereits rund 80 Mio. Euro in die Batterietechnologie investiert.⁶⁹ Daimler hat mehr als 600 Patente zu batteriegetriebenen Fahrzeugen in den letzten 30 Jahren angemeldet – davon über 230 auf dem Gebiet der Lithium-Ionen-Technologie.⁷⁰

Die von Li-Tec hergestellten Batteriezellen sind mit einem neuartigen keramischen Separator ausgestattet. Dies ermöglicht eine hohe Energiedichte bei gleichzeitig kompakten Abmessungen. Zudem bietet diese Technologie eine höhere Sicherheit gegen Überhitzung und eine daraus folgende Explosionsgefahr im Vergleich zu Lithium-Ionen-Zellen herkömmlicher Bauart. Herkömmliche Lithium-Ionen-Batterien schmelzen bei mehr als 140 °C. Mit dem vom Li-Tec entwickelten keramischen Separator können die Batterien bis zu 700 °C ertragen, bevor sie schmelzen. Zusätzlich sollen Lithium-Ionen-Batterien mit dieser Technologie eine höhere Lebensdauer haben. Evonik hat auf das Verfahren weltweite Patente.⁷¹

66 Vgl. Nissan Motor Company (2009) und NEC (2009).

67 Das vom ehemaligen SAP-Vorstand Shai Agassi gegründete kalifornische Unternehmen bietet eine integrierte Lösung aus Elektrofahrzeugen, Batterien, Ladestationen, Batteriewechselstationen und erneuerbaren Energien an. Der Kunde erhält dabei von Better Place eine vollständige Mobilitätslösung, indem er auf monatlicher Subskriptionsbasis Kilometer erwirbt.

68 Vgl. Nissan Motor Company (2009).

69 Vgl. Evonik Industries AG (2009).

70 Vgl. Daimler AG (2009).

71 Vgl. Buchenau/Gillmann (2009).

In Kamenz, Sachsen, baut Li-Tec eine Fabrik für Elektroautobatterien. Anfang 2011 soll die Produktion der Batterien dort starten.⁷² In das Joint Venture »Deutsche Accumotive« und Li-Tec soll laut Aussagen des Unternehmens in den nächsten Jahren – inklusive Fördergeldern – ein Betrag im unteren dreistelligen Millionenbereich investiert werden. Li-Tec fertigt aktuell rund 300 000 Batteriezellen pro Jahr, die Zahl soll auf bis zu acht Millionen steigen. Ein Elektroauto benötigt rund 100 entsprechende Batteriezellen. Langfristig ist auch der Verkauf von Zellen und Batteriesystemen an Dritte vorgesehen.⁷³

3.3.4 Bosch – Samsung

Das deutsche Unternehmen Bosch kooperiert im Bereich Elektroauto mit dem koreanischen Elektronik-Konzern Samsung. Die Partner haben Ende 2008 ein Joint Venture namens »SB LiMotive Co. Ltd.« zur Entwicklung, Fertigung und zum Vertrieb von Lithium-Ionen-Batterie-Systemen in Korea gegründet. An dem Unternehmen sind Bosch und Samsung SDI jeweils mit 50 % beteiligt.⁷⁴

Bosch verfolgt bisher in erster Linie das Konzept des Parallel-Hybrids, der sich mittels sogenannter Komponentenbaukästen auf die verschiedenen Anforderungen der Automobilhersteller und ihrer Modelle zuschneiden lässt. Dafür hat das Unternehmen bereits erste Serienaufträge, sowohl für Benzin- als auch für Dieselmotoren, erhalten. Neben Konzepten für Hybridfahrzeuge bietet Bosch auch Verfahren für Start-Stopp-Techniken oder die Rückgewinnung von Bremsenergie an.⁷⁵

Samsung SDI legt den Fokus auf die Weiterentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien. Das Joint Venture von Samsung und Bosch wird zum Beispiel Lithium-Ionen-Batteriezellen an BMW für das Projekt »Megacity Vehicle« liefern.⁷⁶ Nach Angaben von SB LiMotive sollen bis 2013 rund 500 Mio. US-Dollar investiert werden, um Lithium-Ionen-Batterien und -Systeme für Hybrid- und Elektrofahrzeuge weiterzuentwickeln.⁷⁷

Bosch und Samsung bringen beide als große Weltkonzerne die kritische Masse mit, um in Zukunft ein führender Zulieferer im Bereich Elektroautos zu werden. Samsung bringt seine Großserienerfahrung sowie seine Entwicklungsstärke bei der Lithium-Ionen-Technologie ein. Samsung SDI fertigte im vergangenen Jahr 372 Millionen Lithium-Ionen-Batterien für den Bereich Konsumentenelektronik. Samsung ist weltweit die Nummer drei in der Herstellung von Lithium-Ionen-Akkus nach Sanyo und Sony.

Bosch hat im Produktbereich für Hybrid- und elektrische Antriebe unter anderem ein umfassendes Know-how in den Bereichen Leistungselektronik, elektrische Maschinen, Getriebe und Gleichspannungswandler aufgebaut. Darüber hinaus setzt Bosch bereits seit Jahren als erster Elektrowerkzeuge-Hersteller Lithium-Ionen-Batterien sehr erfolgreich ein.

72 Vgl. Daimler AG und Evonik Industries AG (2009).

73 Vgl. Buchenau/Gillmann (2009).

74 Vgl. Robert Bosch GmbH (2009).

75 Ebenda.

76 Vgl. Spinnarke (2009).

77 Vgl. Otterbach (2009).

3.3.5 Panasonic – Sanyo – Toshiba

Das japanische Unternehmen Panasonic plant, seinen japanischen Konkurrenten Sanyo für 9 Mrd. US-Dollar bis Ende dieses Jahres zu übernehmen. Dadurch würde Panasonic zu dem weltweit führenden Hersteller von Lithium-Ionen-Akkus.⁷⁸ Nickel-Metallhydrid-Batterien von Panasonic werden momentan in Toyotas Hybridauto Prius sowie in Chryslers Dodge Durango und Asen SUV eingebaut. Das japanische Unternehmen Sanyo ist der weltweit führende Hersteller von Akkus. Gegenwärtig stellt Sanyo Autobatterien für die Hybridfahrzeuge von General Motors, Honda und Ford her. Auch VW ist mit Sanyo eine Akku-Partnerschaft für Lithium-Ionen-Akkus eingegangen. Erste Elektroautos sollen 2011 auf den Markt kommen. Toyota hat für seinen neuen Hybrid-Minivan, dessen Markteintritt für 2011 geplant ist, Sanyo als Lieferanten ausgewählt. Auch in dem neuen Plug-in-Prius sollen Sanyo-Batterien verwendet werden. Geplant ist eine Lieferung von 10 000 Batteriesystemen im ersten Jahr.

Sanyo plant, die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien für die Automobilindustrie bis 2015 deutlich auszubauen. Im Jahre 2015 sollen bis zu 10 Mio. Zellen im Jahr hergestellt werden können. Dies würde für ca. 2 Mio. Hybridfahrzeuge (HEV) pro Jahr ausreichen. Panasonic EV Energy hat angekündigt, die Batterieherstellungskapazitäten auf 1 Mio. Systeme bis Mitte 2010 auszubauen.⁷⁹ Panasonic-Sanyo hat als weltweit führender Hersteller von Akkus eine sehr solide Ausgangsposition, ein führender Zulieferer von Elektroautos zu werden. Die Kooperation mit einem der führenden Pkw-Hersteller, Volkswagen, sollte dies unterstützen. Beide haben die kritische Masse und die nötige Produktionserfahrung, um eine zukunftsfähige Massenproduktion erfolgreich aufzubauen.

3.3.6 GS Yuasa

Das japanische Unternehmen GS Yuasa ist im Jahre 2004 aus dem Zusammenschluss der Yuasa Corporation und der Japan Storage Battery entstanden. Bisher waren die Unternehmen hauptsächlich im Bereich der Bleibatterien für Autos und industrielle Anwendungen tätig. Ende 2007 gründete Yuasa ein Joint Venture mit Mitsubishi Corp. namens »Lithium Energy Japan« zur Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Batterien für Autos unter Verwendung der Lithium-Ionen-Phosphat(LFP)-Technologie von Yuasa.⁸⁰

Yuasa hat Ende 2008 auch eine Kooperation mit Honda geschlossen. Das gemeinsame Joint Venture (51 % Yuasa und 49 % Honda) hat den Namen Blue Energy Co. Im April 2009 wurde in Fukuchiyama, Japan, der Grundstein für eine neue Fabrik zur Herstellung und Erforschung von Lithium-Ionen-Batterien gelegt. Die Produktion soll im Herbst 2010 starten. Die Startinvestition beträgt 3 Mrd. Yen (ca. 23 Mio. Euro) und soll in den nächsten Jahren auf 15 Mrd. Yen (ca. 115 Mio. Euro) erhöht werden.⁸¹

Im August dieses Jahres haben die Nippon Mining & Metals Co. und GS Yuasa Corp. den Plan bekannt gegeben, mit der Sammlung von verbrauchten Batterien von Elektro- und Hybridautos zu beginnen und sie wiederzuverwerten (Recycling). Nippon Mining & Metals hat eine Technologie

⁷⁸ Vgl. Panasonic Corporation (2009).

⁷⁹ Hybridcars (2009b).

⁸⁰ Vgl. GS Yuasa Cooperation (2008).

⁸¹ Ebenda.

entwickelt, mit der das Lithium der Batterien extrahiert werden kann. Eine entsprechende Versuchsanlage soll Anfang 2011 mit der Produktion beginnen.⁸² Als der größte asiatische Hersteller von Autobatterien mit einem Jahresumsatz von ca. 2,5 Mrd. Euro hat Yuasa die kritische Masse, um auch in Zukunft ein bedeutender Zulieferer von Batterien von Elektroautos zu werden. Zudem scheint die LFP-Technologie durch die höhere Energiedichte und Schnellladeeigenschaften eine der zukunftssträchigsten zur Verwendung in Elektroautos zu sein.

3.3.7 LG Chem – SK Energy

Die koreanische Chemiefirma LG Chem ist ein führender Hersteller von Lithium-Ionen-Akkus für Handys, Laptops und andere portable Elektrogeräte. Die monatliche Produktion von LG Chem liegt bei ca. 25 Mio. Zellen. Die amerikanische Tochtergesellschaft Compact Power Inc. ist ein Mitglied der USABC⁸³ und entwickelt ein Batteriesystem für das E-Auto-Modell⁸⁴ Volt von GM. Die Markteinführung ist für 2010 geplant. Bisher stützt sich die Technologie von LG Chem auf die Lithium-Mangan-Spinell-Technologie (LMO). Technische Herausforderungen bestehen bei der LMO-Technologie noch im Bereich der Lebensdauer, der Kaltstarteigenschaften und Ladung bei tiefen Außentemperaturen.⁸⁵ Hyundai, LG Chem und SK Energy erhalten Unterstützung von der koreanischen Regierung über 20 Mio. US-Dollar für ein Projekt zur Entwicklung von Akkus für ein Plug-in-Hybridfahrzeug. LG Chem kooperiert unter anderem mit Hyundai Motors und SB Li-Motive (Gemeinschaftsunternehmen von Samsung SDI und Bosch).⁸⁶

3.3.8 A123Systems

A123Systems⁸⁷ wurde 2001 in Watertown, Massachusetts (USA), gegründet. Das Unternehmen ist ein führender amerikanischer Hersteller für Hochleistungs-Lithium-Akkus. Die A123Systems-Nanoscale-Elektroden-Technologie (Lithium-Eisen-Phosphat – LFP) basiert auf Entwicklungen des Massachusetts Institute of Technology. Aufgrund des eingesetzten Nanophosphats zeichnen sich diese Akkus durch eine besondere Schnellladefähigkeit und eine höhere Sicherheit aus. Die größten Investoren dieses Privatunternehmens sind: General Electric, Alliance Capital, Sequoia Capital, CMEA Ventures, FA Technology Ventures, OnPoint, das Massachusetts Institute of Technology, Motorola, Qualcomm und Duracell (Tochterunternehmen von Procter & Gamble).⁸⁸ Neben A123 Systems entwickeln unter anderem auch BYD, GS Yuasa und Valence Technologies die LFP-Technologie weiter. Die Akkumulatoren von A123Systems werden in Werkzeugen, für den Start von Flugzeugtriebwerken, in Hybridbussen, Hybridfahrzeugen, Elektromobilen und in der Photovoltaik eingesetzt. Im August hat A123Systems von dem US Department of Energy (DOE) im Rahmen der »Electric Drive Vehicle Battery and Component Manufacturing Initiative« eine Zusage über Hilfen von 249 Mio. US-Dollar bekommen. A123Systems arbeitet momentan an acht Ent-

82 Vgl. Green Cars Congress (2009).

83 Vgl. US Advanced Battery Consortium (USABC) (2009).

84 E steht für Elektro.

85 Vgl. Deutsche Bank (2008).

86 Vgl. Rehn (2009).

87 Der Firmenname A123Systems ist der Formel zur Berechnung der Hamaker-Kraft-Konstante entlehnt. Die Formel beschreibt die zwischen Nanopartikeln bestehende Anziehungs- bzw. Abstoßungskraft und beginnt mit A123.

88 Vgl. A123Systems (2009).

National Alliance for Advanced Transportation Battery Cell Manufacture

Ende 2008 hat eine Gruppe von amerikanischen Batterieherstellern eine private Allianz gegründet, um die amerikanischen Herstellungskapazitäten von Lithium-Ionen-Akkus deutlich auszubauen. Ziel dieser Kooperation ist, mit der asiatischen Konkurrenz schrittzuhalten. Zu dieser Kooperation gehören 3M, ActCell, All Cell Technologies, Altair Nanotechnologies, EaglePicher, EnerSys, Envia Systems, FMC, Johnson Controls-Saft, MicroSun, Mobius Power, SiLyte, Superior Graphite und Townsend Energy. Vorbild für diese Zusammenarbeit ist der Erfolg von Sematech, einer Kooperation der US-Regierung und der Halbleiterindustrie aus den 80er-Jahren, die damals gegründet wurde, um den Wegzug der Halbleiterproduktion von Amerika nach Asien aufzuhalten.

Kasten 12

wicklungsaufträgen für elf verschiedene Hybrid- und Elektroautos. Darunter befinden sich zum Beispiel Chrysler, GM, Volvo (Lkw), Mercedes (Bus-Sparte).⁸⁹

Sollte sich die Lithium-Eisen-Phosphat-Technologie durchsetzen, ist A123Systems als ein führendes Unternehmen dieser Technologie bestens positioniert. Allerdings ist das Unternehmen noch relativ klein. Das Hauptproblem ist in Zukunft, diese Technologie als Massengut zu etablieren. Das Unternehmen plant den Bau einer World-Class-Fabrik zur Herstellung von Akkumulatoren. Dazu wurde eine Kreditunterstützung in Höhe von 1,84 Mrd. US-Dollar im Rahmen des Programms »Advanced Technology Vehicles Manufacturing Incentive Program« des DOE beantragt. Ziel ist, 2013 eine Produktionskapazität von 5 Mio. Hybrid oder 0,5 Millionen Plug-in-Elektrofahrzeugbatteriesystemen zu erreichen – und damit Massenherstellung.⁹⁰

89 Vgl. Deutsche Bank (2008).

90 Vgl. A123Systems (2009).

4. Elektromobilität – ein vielversprechendes Konzept

4.1 Standortbestimmung

Ziel dieses Abschnittes ist, einen kurzen Überblick über den gegenwärtigen Fortschritt, die Diskussionen und Herausforderungen der Elektromobilität zu geben. Dabei kann aber keine Garantie auf eine komplette Abdeckung aller relevanten Bestimmungsfaktoren gegeben werden. Vielmehr soll anhand von Beispielen aufgezeigt werden, welche Entwicklungen – außerhalb des Bereiches der Fahrzeugtechnologie – schon heute vorangetrieben werden und wie diverse Unternehmen im gegenwärtigen Umfeld die Zukunft der Elektromobilität planen beziehungsweise schon umzusetzen beginnen. Die Elektrifizierung der Antriebe ist eine ganz wesentliche Stellschraube für eine zukunftsfähige und nachhaltige Mobilität. Sie bietet die Chance, die Abhängigkeit vom Öl zu reduzieren, die Emissionen zu minimieren und die Fahrzeuge besser in ein multimodales Verkehrssystem zu integrieren.

Der Begriff Elektromobilität bezieht sich dabei in der Regel auf den motorisierten Individualverkehr, wobei die eingesetzten Fahrzeuge einen Elektromotor als Antrieb verwenden und/oder eine relevante Menge an elektrischer Energie in Batterien gespeichert haben, sowie auf die Bereitstellung der zum Aufladen am Stromnetz benötigten Infrastruktur. Der Begriff wird auch in der politischen Diskussion um den Klimaschutz und dessen Verankerung in Konjunkturmaßnahmen verwendet. In Deutschland hat die Bundesregierung einen Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität erstellt, dessen Ziel es ist, Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität zu machen (vgl. Teil A, Kap. 3.2.3).⁹¹

Die Vision hinter der Elektromobilität ist aus dem Spannungsfeld entstanden, dass immer mehr Menschen individuell mobil sein wollen und dass der Energiebedarf gerade in Schwellenländern (zum Beispiel Indien und China) enorm ansteigt. Beide Ansprüche wurden bisher vor allem durch fossile Energieträger befriedigt. Doch die Zeit drängt: Die Ressource Erdöl wird zunehmend knapper, und der Klimawandel wird durch den kontinuierlich steigenden CO₂-Ausstoß beschleunigt. Handlungsdruck besteht aber auch aufgrund des tendenziell steigenden Preistrends fossiler Kraftstoffe.

Vielfach wird ein schneller Paradigmenwechsel gefordert: Schon immer hat es Wertewandel gegeben, und dies erscheint bei der Umstellung vom Öl auf die Batterie oder andere alternative Antriebskonzepte ebenso notwendig, lautet das Argument der Befürworter eines zügigen Umstiegs auf nachhaltige Mobilität. Die Autowirtschaft konzentrierte sich aber weiterhin hauptsächlich auf die Entwicklung von (effizienteren) Verbrennungsmotoren – obwohl sie auch schon viel Geld in die Entwicklung alternativer Antriebe investiert.⁹²

Unter den Autoherstellern ist dabei noch längst nicht entschieden, welche Technologie das Rennen machen wird: der konventionelle Hybrid, der Plug-in-Hybrid, das Elektrofahrzeug – oder vermögen sich gar sparsame Verbrennungsmotoren – mit Biokraftstoffen der zweiten Generation – besser zu behaupten als derzeit angenommen? Der Verbrennungsmotor hat noch ein enormes

⁹¹ Bundesregierung Deutschland (2009).

⁹² Vgl. Innovationsreport (2009).

Effizienzpotenzial, und außerdem müssen bei einer Gesamtbetrachtung die Emissionen der Stromerzeugung, die für die Nutzung von E-Autos anfallen, mit berücksichtigt werden. Plug-in- und Batterie-Elektrofahrzeuge erscheinen dabei vor dem Hintergrund der Energieeffizienz sehr attraktiv: Die CO₂-Bilanz für ein batteriebetriebenes Elektrofahrzeug ist mit 35% der Emissionen eines Referenzfahrzeuges mit Otto-Motor bereits sehr günstig, beim Einsatz von regenerativen Energiequellen kann der CO₂-Ausstoß sogar nahezu vollständig vermieden werden (vgl. Teil A, Kap. 3.2.3).⁹³

Dennoch werden Autos, abgesehen von einigen Ausnahmen, immer noch hauptsächlich über Status und Leistung verkauft. Angesichts von zunehmenden Geschwindigkeitsbegrenzungen und stetig wachsendem Verkehrsaufkommen – mit den Folgen von Stauungen und Umweltverschmutzung nicht nur in den Metropolen dieser Welt – widerspricht die Entwicklung von leistungsstarken Motoren den unüberhörbaren Forderungen einer zeitgemäßen Mobilität.

Autos mit herkömmlichen Antriebskonzepten scheinen daher nahe dem Ende ihres Zyklus angekommen zu sein. Dies haben die Produzenten seit geraumer Zeit erkannt und deshalb vereinzelt erste Hybridfahrzeuge auf den Markt gebracht.

Es sind aber nicht nur die Unternehmen und Konsumenten, die das Thema Elektromobilität angeht. Auch die Öffentliche Hand demonstriert starkes Interesse: Nachhaltige Mobilität gilt heute als eine der zentralen Herausforderungen und wird beispielsweise von der Bundesregierung sowohl mit dem Integrierten Energie- und Klimaprogramm, dem Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität als auch mit konjunktur- und fiskalpolitischen Maßnahmen gefördert. Zusätzlich verspricht sie zweckgebundene Entwicklungszuschüsse und ist geneigt, auch zukünftig weitere Hilfestellungen zu leisten (siehe »Abwrackprämie«). Die Autobauer sind in der andauernden Absatzkrise nicht in der Lage, die gesamte Neuorientierung aus eigener Kraft zu finanzieren.

Zahlreiche Nationen sehen in der Elektromobilität auch die Möglichkeit, viele neue Arbeitsplätze durch diese Zukunftstechnologie entstehen zu lassen, und hoffen, hier mit ihrer eigenen Industrie eine Vorreiterrolle beziehungsweise Technologieführerschaft einnehmen zu können – so auch Deutschland.

Der Umstieg von der heutigen Antriebstechnik auf die Elektromobilität scheint also nicht nur Wunschdenken einiger weniger zu sein. Er dürfte sich aber nur über einen längeren Zeitraum als von vielen Seiten gewünscht umsetzen lassen. Einige Studien gehen davon aus, dass im Jahr 2020 Hybrid- und Elektrofahrzeuge deutlich über 10% des jährlichen Gesamtabsatzes ausmachen werden. Andere sehen das Potenzial zu diesem Zeitpunkt eher bei 6–7%. Für das Jahr 2030 wird der Anteil der Elektrofahrzeuge von den optimistischeren Studien schon bei fast 40% aller Neuwagenverkäufe geschätzt.

Die Bundesregierung erwartet in einem ersten Schritt bis 2020, dass eine Million am Stromnetz aufladbare Autos und Plug-in-Hybridfahrzeuge in Deutschland zugelassen sind – das sind allerdings nur ca. 2% aller heute in Deutschland zugelassenen Kraftfahrzeuge (49,6 Mio. zum 1. Januar 2009). 2030 soll die Anzahl schon 5 Mio. betragen (vgl. Teil A, Kap. 3.2.3). Die RWE AG erwartet

⁹³ enerlgate (2009a).

Anteil des Absatzes im Jahr 2020

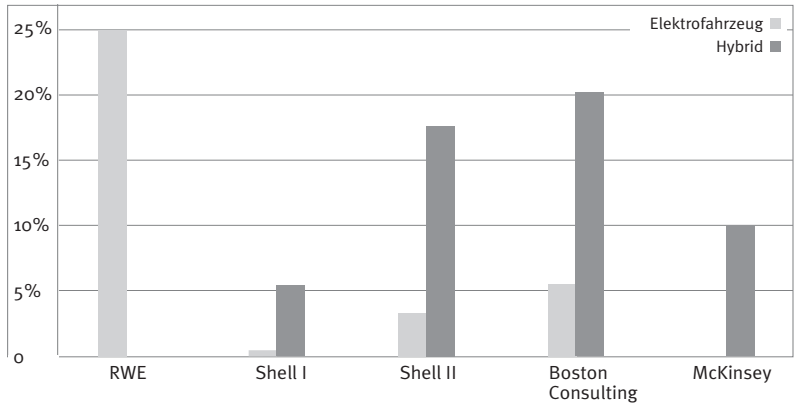


Abb. 19

Quelle: Feller/Stephan (2009).

im Jahr 2020 hingegen schon bis zu 2,5 Mio. Fahrzeuge beziehungsweise 5 % vom Fahrzeugbestand und einen 25-prozentigen Anteil der Neuzulassungsquote. Die Unternehmensberatung McKinsey hatte sich in einer Studie hingegen ausgesprochen pessimistisch geäußert: Sie errechnet bis zum Jahr 2020 ein Potenzial von 100 000 bis 400 000 Autos in Deutschland. Weltweit könnten Autos mit Elektroantrieb binnen der nächsten elf Jahre einen Marktanteil zwischen 1 % und 9 % erobern.⁹⁴

Genaue Prognosen sind deshalb schwierig, weil sie von sehr vielen Faktoren abhängen, die über die Jahre relativ stark schwanken können (siehe zum Beispiel die Entwicklung des Ölpreises, des Wirtschaftswachstums oder wann der technische Durchbruch bei der Batterieentwicklung endgültig erzielt werden kann). Eine deutlich schnellere Einführung könnte jedoch durch die Gewährung von Steuervorteilen oder Ähnlichem erreicht werden, die den heute noch hohen Kostennachteil in der Anschaffung von Elektrofahrzeugen reduzieren. Der Marktanteil könnte dann bei Neuzulassungen 2020 mit bis zu 20 % ca. doppelt so hoch liegen wie ohne einen solchen Stimulus (siehe

⁹⁴ Vgl. McKinsey & Company (2009).

Anteil der Käufe von E-Autos in Deutschland

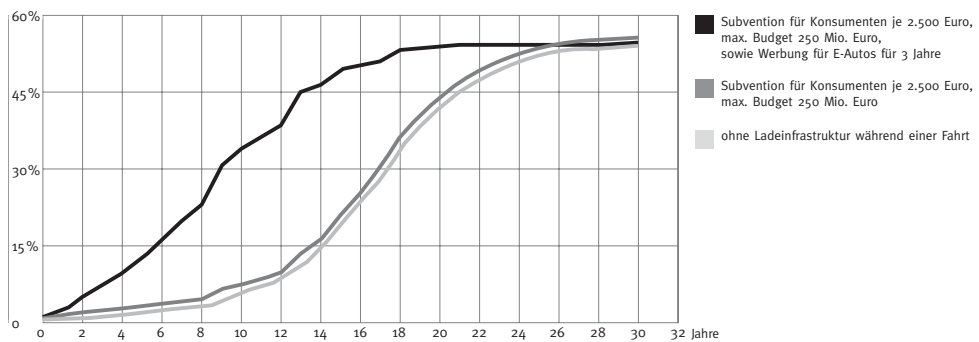


Abb. 20

Quelle: Feller/Stephan (2009).

dazu Abbildung 20). Der obere Graph zeigt dabei den geschätzten Verlauf bei Einsatz von Subventionen und besonderen Marketingmaßnahmen. Extrem wichtig für die Effektivität dieser finanziellen Anreize ist, dass das Elektrofahrzeug stärker im öffentlichen Bewusstsein verankert wird.⁹⁵ Zum einen sind die Investitionen in Forschung und Entwicklung, die für eine solche Umstellung notwendig sind, enorm und können, wenn überhaupt, nur über mehrere Jahre verteilt von der Industrie geschultert werden. Die Batterietechnik scheint hierbei der entscheidende limitierende Faktor zu sein, der den Übergang zu großen Produktions- und Absatzmengen von Fahrzeugen mit nachhaltiger Antriebsart bestimmt.

Zum anderen fehlt die notwendige Infrastruktur, die von der Stromwirtschaft und anderen beteiligten Parteien aufzubauen wäre. Neben der Ladeinfrastruktur ist parallel auch in ein intelligentes Stromnetz zu investieren, in dem die Batterien der Autos als Speicher genutzt werden könnten. Die Einbindung von erneuerbaren Energien in den Strommix für die Entwicklung der Elektromobilität ist dabei längerfristig unerlässlich, um eine nachhaltige Mobilität zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes gewährleisten zu können.

Zur Begrenzung dieser Emissionen setzen die Energieversorger schon heute vermehrt auf erneuerbare und CO₂-freie Energien wie Wind und Sonne, doch deren Ertrag schwankt je nach Wetter. Mit zunehmendem Anteil solcher Energieträger am Strommix eines Landes steigt daher auch der Bedarf an schnell einsetzbaren Zwischenspeichern für den Strom. Diesen Zweck könnten zum Beispiel die Autobatterien übernehmen. Nach Schätzungen der Beratungsgesellschaft B.A.U.M. Consult könnten ca. 2,5 Mio. Elektroautos genug Speicherkapazität bieten, um die Stromschwankungen zwischen Erzeugung und Bedarf in Deutschland auszugleichen.⁹⁶

Des Weiteren wird die Akzeptanz seitens der Kunden von entscheidender Bedeutung sein. Der Markterfolg hängt auch hier vom Fahrspaß und von der Alltagstauglichkeit ab. Trotz der zuletzt gestiegenen Berichterstattung in der Presse ist die Begeisterung beim Endkunden noch nicht wirklich angekommen, viel Aufklärungsarbeit seitens der Industrie ist noch zu leisten. Dennoch zeigt eine Studie im Auftrag des Unternehmens Better Place, in der 8 000 Autofahrer befragt wurden, ob sie mit Blick auf den nächsten Autokauf über den Erwerb eines Elektrofahrzeugs nachdenken, dass das Interesse an Elektromobilen schon vorhanden ist. Demnach sind in Israel 57% der Befragten an einem E-Auto interessiert, in Dänemark 40%, in Australien 39%, in Kanada 35% und in den USA 30%.⁹⁷ Auf der 63. Internationalen Automobil-Ausstellung (IAA) für Pkws im September 2009 hatten die Hersteller die Chance, das Thema in den Köpfen der Kunden noch tiefer zu verankern. Insbesondere die deutschen Automobilhersteller, die mit 42 von 82 Weltpremieren den Löwenanteil an den Neuheiten hatten, zeigten mit ihren Modellen den Weg für künftiges Wachstum und hohe Umweltverträglichkeit auf.⁹⁸ Schließlich werden auch neue Geschäftsmodelle über eine beschleunigte Einführung nachhaltiger Mobilität mitentschieden. Hier werden beispielsweise verschiedene Modelle der Fahrzeugfinanzierung diskutiert oder Modelle, in denen der Konsument auch wieder zum Stromverkäufer werden kann.

⁹⁵ Feller/Stephan (2009).

⁹⁶ Vgl. VDE (2009).

⁹⁷ Vgl. Grüne Autos (2009).

⁹⁸ Vgl. IAA (2009).

4.2 Infrastrukturbedarf

Neben der Technologie, massenproduktionstaugliche Batterien mit akzeptabler Reichweite und Ladezeit zu entwickeln, ist die ausreichende Investition in die Ladeinfrastruktur – sprich die Verbindung zwischen Stromnetz und Hybrid- oder Elektrofahrzeugen – eine der Grundvoraussetzungen für eine hohe Marktdurchdringung nachhaltiger Mobilität. Batteriewechselstationen bieten eine alternative Möglichkeit, die E-Autos innerhalb kurzer Zeit wieder »vollzutanken«.

Die Herausforderung für die Energieversorgung besteht vom Grundsatz her nicht in der Bereitstellung der benötigten Energie, sondern in der Schaffung einer intelligenten Ladeinfrastruktur («Smart Grid») und intelligenten Abrechnungs- und Kommunikationssystemen («Smart Metering») für den mobilen Kunden. Eine umfassende Standardisierung ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für einen schnellen Markterfolg. Die Energieversorger konzentrieren sich somit generell auf die potenziellen Vertriebsmöglichkeiten durch die Bereitstellung von Ladestationen, Entwicklung von Mobilitätsdienstleistungen und neuen speziellen Produkten.

Dabei ist an verschiedenen Standorten eine den unterschiedlichen Rahmenbedingungen angepasste Ladeinfrastruktur erforderlich. Die Batterietechnologie stellt den Engpassfaktor bei der Einführung von Elektroautos dar. Je schneller neue, leistungsfähige Batterien Marktreife erlangen, desto weniger sind Investitionen in eine flächendeckende Ladeinfrastruktur notwendig.⁹⁹

Die Politik ist gefordert, eine ausreichende Verfügbarkeit von Parkplätzen für Elektrofahrzeuge zu ermöglichen. Außerdem müssen einheitliche Genehmigungsprozesse für den Bau von neuen Parkplätzen und Ladestationen auf den Weg gebracht werden. Da der Sinn und Zweck des Wandels hin zu einer nachhaltigen Mobilität in der deutlichen Reduzierung der Treibhausgase durch fossile Brennstoffe liegt, sollte der Strombedarf für die Elektromobilität eigentlich nur aus regenerativen

⁹⁹ Vgl. Kreuzer Consulting (2009).

Mögliche Standorte einer Ladeinfrastruktur

	Zu Hause	Bei Infrastrukturpartnern	Am Arbeitsplatz	Im öffentlichen Parkstraßenraum
Standort-typen	Eigene Garage oder Stellplatz	Kundenparkplätze, z.B. Einkaufszentrum	Arbeitnehmerparkplätze auf Firmengelände	Öffentliche Parkplätze Straßenrand
Besitzfläche für Ladestation	Privat	Privat	Privat	Öffentlich (Stadt / Gemeinde)
Stromversorgung	Über Hausanschluss, Besitzer Ggf. separater Lieferpunkt/ Zähler	Über Anschluss Infrastrukturpartner Ggf. separater Lieferpunkt/ Zähler	Über Anschluss Arbeitgeber Ggf. separater Lieferpunkt/ Zähler	Neu zu erschließen/ Netzanschluss Ggf. Nutzung vorhandener Anschlüsse

Abb. 21

Quelle: RWE AG (2009).

Quellen wie zum Beispiel Windkraft oder Solarenergie stammen. Die Kapazitäten, die zur Deckung des steigenden Energiebedarfs durch die Einführung von Hybrid- oder Elektrofahrzeugen notwendig sind, können simultan zu deren steigenden Verkaufszahlen weiterhin ausgebaut werden.

Ein gut motorisiertes Elektroauto braucht eine Batterie mit 42 kWh Energieinhalt, um bei 15 kWh pro 100 km eine Reichweite von fast 300 km zurückzulegen. Bei der üblichen Spannung von 230 Volt und 16 Ampere würde dann aber ein voller Ladevorgang etwa zwölf Stunden dauern. Doch bei 400 Volt und 25 Ampere könnte der Autofahrer bereits nach zwei Stunden wieder eine Langstrecke zurücklegen. Diese 400-Volt-Anschlüsse gibt es in jedem deutschen Haushalt, da dies die Spannung des üblichen Drehstromanschlusses ist. Um sie zu nutzen, fehlen aber bisher die notwendigen Schnittstellen zwischen Auto und Stromnetz.

Tatsächlich ist der zusätzliche Strombedarf im Falle der Einführung von Elektrofahrzeugen erstaunlich niedrig: Bei einer nahezu 100-prozentigen Marktdurchdringung (ca. 46,5 Mio. Fahrzeuge) mit einer jährlichen Laufleistung je Fahrzeug von durchschnittlich 12.600 km und 15 kWh Stromverbrauch pro gefahrenen 100 km werden 88 TWh veranschlagt. Schon heute werden in Deutschland ca. 93 TWh aus erneuerbaren Energiequellen (15 % des gesamten Stromverbrauchs) generiert.¹⁰⁰ Das heißt, es bestünde alleine aus diesem Grund kein zusätzlicher Investitionsbedarf in regenerative Energien. Bei einem Marktanteil von 20 % im Jahre 2020, was immer noch einem sehr optimistisch geschätzten Durchdringungsgrad für E-Autos entsprechen würde, stiege der Strombedarf durch Elektromobilität sogar gerade einmal um 18 TWh. Das entspräche nur knapp 3 % des deutschen Stromverbrauchs des Jahres 2008. Bei einem durchschnittlichen Stromverbrauch von ca. 2.500 kWh pro Fahrzeug und Jahr würde der Strombedarf für 1 Mio. E-Autos, so wie es die Bundesregierung plant, zusätzlich nur 2,5 TWh ausmachen.¹⁰¹

¹⁰⁰ Vgl. BDEW (2009).
¹⁰¹ enerigate (2009b).

Zusätzlicher Stromabsatz in Deutschland

Stromabsatz inkl. Ergebnispotenzial		Szenarien
Anzahl Pkws in Deutschland	46,5 Mio.	Das Absatzpotenzial bei 100% Marktdurchdringung würde rund 88 TWh bzw. 2,6 Mrd. Euro betragen
Anteil Elektrofahrzeuge	100 %	
Ø km-Laufleistung/Jahr und Fahrzeug	12.600 km	Studien gehen von einer Marktdurchdringung von rund 20% bis 2020 aus – dies führt zu einem Absatz von rund 18 TWh (ca. 0,5 Mrd. Euro)
Ø Energieverbrauch je 100 km	15 kWh	
Zusätzliches Absatzpotenzial	88 TWh	
Jahresstromerzeugung in Deutschland 2008: 615 TWh (davon 93 TWh aus regenerativen Energiequellen (15,1% EEG))		

Abb. 22

Quelle: RWE AG (2009).

Um die Energieversorgung letztendlich deutlich unabhängiger von fossilen Brennstoffen zu machen, braucht es aber ergänzende regenerative Energieerzeugungskonzepte. Darin könnten sich elektrisch angetriebene Fahrzeuge künftig als mobile und flexible Bestandteile etablieren: Das elektrische Fahrzeug ist gleichzeitig Fortbewegungsmittel und mobiler Energiespeicher, der mittelfristig auch als Energiequelle in öffentlichen Netzen zum Einsatz kommen kann. Sie könnten als Zwischenspeicher für die fluktuierende Einspeisung von Wind- oder Solarenergie genutzt werden – vorausgesetzt, der Netzausbau gestattet die Energiedurchleitung.¹⁰²

Zur Erreichung der Klimaschutzziele muss der Anteil regenerativer Energie in den kommenden Jahren erheblich gesteigert werden. Derzeitige Schätzungen gehen davon aus, dass der Anteil der erneuerbaren Energien schon im Jahr 2020 auf ca. 30 % steigen dürfte. Auch hier haben Energiespeicher eine Schlüsselrolle. Nicht nur große fest installierte Speicher halten das Stromnetz stabil. Auch die Batterien in Elektroautos könnten einen Beitrag leisten: Bei starker Sonnenstrahlung oder kräftigem Wind speichern sie die überschüssige Energie und speisen bei Flaute oder bewölktem Himmel einen gewissen Teil wieder ins Netz ein. Bei dieser mit Vehicle-to-Grid bezeichneten Technologie fließt der Strom vom E-Auto zurück ins Stromnetz.

Einer Analyse des Fraunhofer Instituts zufolge stehen selbst zu Stoßzeiten etwa 95 % aller Fahrzeuge auf Parkplätzen. Wären 10 % aller in Deutschland zugelassenen Autos Hybridfahrzeuge, die eine Energiemenge von 1 kWh speichern könnten, belief sich die gesamte Energiemenge auf 4,6 GWh. Geht man vom Maximalszenario aus und nimmt an, dass alle Fahrzeuge Elektrofahrzeuge sind, deren Speicher 15 kWh fassen könnten, läge die in den Autos gespeicherte Energiemenge bei 690 GWh – man könnte in diesem Fall das gesamte deutsche Stromnetz zehn Stunden lang nur aus diesen Fahrzeugen speisen.¹⁰³

Käme es aber zu einem Entwicklungssprung in der Batterietechnik, mit dem es möglich wird, E-Mobile in weniger als 10 Minuten aufzuladen und gleichzeitig hohe Reichweiten zu erzielen, würde es ausreichen, herkömmliche Tankstellen um Strom-Zapfsäulen zu ergänzen. Eine flächendeckende (und zweifelsohne mit hohem Investitionsbedarf verbundene) Infrastruktur mit Ladestationen an jedem Parkplatz oder die Einrichtung von Batteriewechselstationen wären dann hinfällig.

Wenn hingegen die Entwicklung langsamer voranschreitet, wird ein engmaschiges Netz von Ladestationen die Chance zur Nutzung der Batterien als riesiger Pufferspeicher eröffnen, in den nachts ansonsten überschüssig produzierte (regenerative) Energie geleitet werden könnte. Dies würde Raum für vollkommen neue Geschäftsmodelle schaffen. Hierbei müssen nicht nur Energieversorger darauf achten, die Chancen schnell zu nutzen. Sie müssen sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette engagieren, da viele Branchen von den Zukunftschancen der Elektromobilität profitieren möchten. Aus diesem Grund haben die großen Stromanbieter auch ein Interesse an der intensiven Zusammenarbeit mit den Automobilherstellern. Zu den einzelnen Kooperationen, die schon initiiert wurden, und möglichen neuen Geschäftsmodellen kommen wir jedoch später. Wie viele Lade- beziehungsweise Batteriewechselstationen sind letztendlich notwendig? Ein limitieren-

¹⁰² Vgl. Siemens AG (2009).

¹⁰³ Vgl. Elektroauto Portal (2009).

der Faktor bei der Einführung von Elektrofahrzeugen ist, wie schon erwähnt, die derzeit noch geringe Reichweite aufgrund der heute zur Verfügung stehenden Batterietechnologie. Damit haben sie eine geringere Attraktivität gegenüber dem Auto mit Verbrennungsmotor. Dieses Problem in der näheren Zukunft zu lösen ist schwierig. Wir befinden uns hier in einer Zwickmühle: Einerseits dürften Ladestationen flächendeckend erst dann installiert werden, wenn eine ausreichende Anzahl von E-Fahrzeugen vorhanden ist, und umgekehrt dürften E-Fahrzeuge erst dann in großen Mengen gekauft werden, wenn die Attraktivität groß genug ist, diese auch zu benutzen, sprich, wenn ausreichend in die Ladeinfrastruktur investiert wurde (vgl. Teil A, Kap. 3.3). Dieses Problem könnte durch staatliche Subventionen für Ladestationen umgangen werden. Ein positiver Effekt solcher Subventionen macht sich aber erst nach acht bis zehn Jahren nach der Einführung deutlich bemerkbar.¹⁰⁴ Nach ca. 14 Jahren könnte die Anzahl der Ladestationen die Marke von 10 000 Stück übersteigen. Zum Vergleich: Derzeit gibt es in Deutschland ca. 14 500 konventionelle Tankstellen und rund 800 Erdgastankstellen.¹⁰⁵

Neben der Möglichkeit, eine Ladeinfrastruktur aufzubauen, sehen verschiedene Parteien in sogenannten Batterie-Austausch-Stationen eine Alternative. So will zum Beispiel das Unternehmen Better Place aus Kalifornien, USA, ein Netz von Servicestationen für die Batterien von Elektroautos errichten. Sie sollen ähnlich wie Tankstellen funktionieren. In diesen Stationen werden die Batterien nicht nur geladen. Aus Zeitgründen werden leere Elektroautobatterien mit wenigen Handgriffen gegen voll geladene Akkus ausgetauscht.¹⁰⁶ Mit diesem System könnte ein großer Teil der bestehenden Infrastruktur (zum Beispiel Tankstellen und Werkstätten) genutzt werden. Nur wäre dann die Batterie nicht mehr fester Bestandteil des Autos, sondern sie würde sozusagen nur gemietet. So könnte aber der Übergang zu einer nachhaltigen Mobilität sinnvoll unterstützt werden.

Better Place hat mittlerweile in Yokohama, Japan, die weltweit erste Elektro-Tankstelle mit roboterbetriebem Akkuwechsel vorgestellt. Das Roboter-System entfernt die entladene Batterie und transferiert im Austausch eine neu geladene in das Fahrzeug. Der Vorgang dauert nur eine Minute, und der Fahrer des E-Autos kann komfortabel im Wagen sitzen bleiben.

Eine Studie der Universität Berkeley in Kalifornien, USA, die die potenzielle Marktgröße und die Umweltschutzeffekte eines Massenmarktes für Elektromobile mit wechselbaren Batterien untersucht, kommt sogar zu dem Schluss, dass eine schnellere Markteinführung erfolgt, wenn man das Eigentum von Batterie und Auto voneinander trennt.¹⁰⁷ Die Infrastruktur für Autos mit Brennstoffzelle bereitzustellen scheint ähnlich aufwendig wie für reine Elektroautos. Hier muss eine neue, speziell konstruierte Betankungstechnologie (zum Beispiel die von Linde entwickelte 700-Bar-Druckbetankung) für den Wasserstoff installiert werden. Der derzeitige Technologiestand ermöglicht schon heute eine Reichweite von ca. 400 km pro Tankfüllung, ähnlich dem heutigen Verbrennungsmotor.

Früheren Studien zufolge werden in Deutschland alleine aber mindestens 1 000 Wasserstoff-tankstellen benötigt, um bei einem kommerziellen Verkauf von Fahrzeugen die Fläche abdecken zu können. Dies bedeutet im Anfangsstadium Investitionen von 1,5 bis 2 Mrd. Euro.¹⁰⁸

104 Feller/Stephan (2009).

105 ADAC (2009); Augsburgener Allgemeine (2009).

106 Better Place (2009).

107 CET (2009).

108 CO2-Handel (2009).

Im Gegensatz zum Öl gibt es bei Wasserstoff zukünftig wohl kaum Engpässe. Größter Erzeuger ist die chemische Industrie, die Wasserstoff als Neben- oder Koppelprodukt herstellt. Damit könnten alleine in Deutschland schon heute ca. 750 000 Fahrzeuge betrieben werden. Die CO₂-Problematik bei der herkömmlichen Herstellung von Wasserstoff ist in Teil A, Kapitel 3.2.5 beschrieben. Mittel- bis langfristig wollen die Gasehersteller den Wasserstoff auch unter Einsatz erneuerbarer Energie erzeugen. Neben Bioabfällen könnte das Gas auch aus Wind- oder Solarstrom durch Elektrolyse hergestellt werden. Allerdings wird die Umstellung auf Biowasserstoff noch einige Zeit auf sich warten lassen. Denn zunächst muss es genügend mit Wasserstoff betriebene Fahrzeuge geben, damit sich die Herstellung von Biowasserstoff lohnt – wobei wir wieder bei dem Problem der Zwickmühle wären.

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht den Investitionsaufwand (Schätzung von 2007), der insgesamt getätigt werden muss, um in zehn europäischen Ländern bis 2030 die gesamte Infrastruktur aufzubauen. Von den insgesamt knapp 60 Mrd. Euro entfallen ungefähr 20% auf die reine Wasserstoff-Infrastruktur und 80% auf das Fahrzeug. Insgesamt kommen auf die Unternehmen, die sich an einem Aufbau einer neuen oder zumindest erweiterten Infrastruktur beteiligen wollen, hohe Ausgaben zu. Deshalb ist es fast unerlässlich, sich mit anderen Unternehmen zusammenzuschließen, um die Anfangsinvestitionen schultern zu können. Auch der Staat ist gefordert, sich an den Kosten zu beteiligen. Dies wirkt sich auch positiv auf die Geschwindigkeit der Markteinführung aus.

Gesamtkosten für Wasserstoff-Fahrzeuge und die notwendige H₂-Infrastruktur

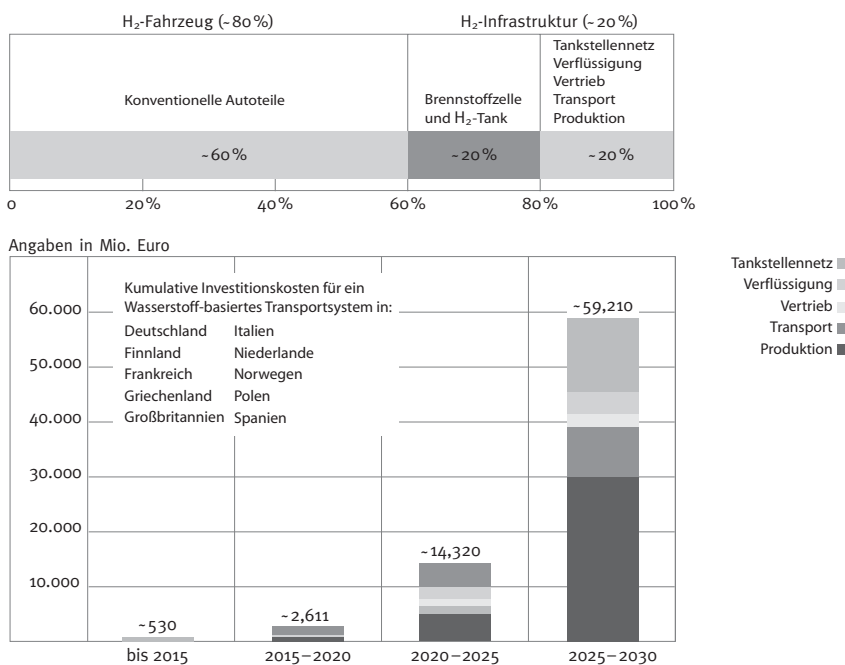


Abb. 23

Quelle: European Hydrogen Association (2008).

4.3 Kooperationen

Nachfolgend beleuchten wir diverse Kooperationen, die durch die Forschung und Entwicklung im Bereich E-Mobilität entstanden sind. Da diese so vielfältig sind und noch nicht alle Kooperationen, die eingegangen wurden, auch der Öffentlichkeit bekannt gemacht wurden, kann auch hier kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden. Fokussieren wollen wir uns deshalb auf Stromversorgungsunternehmen und Automobilhersteller.

Laut einer Umfrage der Unternehmensberatung con|energy engagiert sich bereits heute jedes zehnte Versorgungsunternehmen im Bereich Elektromobilität, und zwar hauptsächlich mit kommunikativen Aktivitäten wie der informativen Aufbereitung des Themas. Auch technische Aktivitäten beschäftigen die Stromversorger, in der Regel im Zusammenhang mit dem Aufbau und der Planung von Ladeinfrastruktur. Immerhin planen weitere 15 % der Energieversorger ein Engagement im Bereich der Elektromobilität in den nächsten Jahren. Mehr als die Hälfte davon schätzt, bis zum Jahr 2011 das Thema besetzt zu haben. Bevorzugte Partner der Versorger sind heute gleichermaßen Städte und Kommunen, Automobilhersteller sowie Hochschulen (jeweils 38 %). Verbände spielen noch keine Rolle, sind aber für 23 % derjenigen relevant, die in der Zukunft aktiv werden wollen. Wichtiger werden nur noch die Automobilhersteller (46 %) sein, Städte oder Kommunen sind zukünftig für 15 % potenzielle Partner.

Im Rahmen des zweiten Konjunkturpakets hat die Bundesregierung Gelder zur Verfügung gestellt, um die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für Elektromobilität bis zum Jahr 2020 zu beschleunigen. Im Rahmen des Förderschwerpunktes »Modellregionen Elektromobilität« wurden acht Regionen ausgewählt. 23 % der Städte mit mehr als 20 000 Einwohnern sind laut einer Befragung bereits aktiv. Die meisten davon sind mit der Einführung von Elektrofahrzeugen im eigenen Fuhrpark (42 %) oder mit dem Auf- beziehungsweise Ausbau städtischer Ladeinfrastruktur (38 %) befasst, erst dann folgt die Integration der Elektromobilität in die Stadtentwicklung (29 %).¹⁰⁹

Die großen Energieversorger haben sich bereits zusammen mit den Automobilherstellern im Rahmen von gemeinsamen Pilotprojekten an den Start begeben, bevor andere Anbieter, auch fremder Branchen wie der Mineralölindustrie oder Abrechnungsdienstleister, ihre Geschäftsmodelle am Markt platzieren. Zwei Industrien, die noch nie zuvor miteinander zu tun hatten, müssen jetzt ihr jeweiliges Wissen vereinen, verlässliche Standards schaffen und nicht zuletzt für beide Seiten lukrative Vermarktungsmodelle entwickeln. So kooperieren in Deutschland beispielsweise Daimler mit RWE sowie BMW (mit der Marke Mini) zusammen mit Vattenfall und E.ON, die sich deutlich auf die Hauptstadt Berlin konzentrieren. In Frankreich agieren zum Beispiel EDF mit Renault-Nissan oder in den USA PG&E Corp. mit Tesla Motors.

Die BMW Group schickt im Pilotprojekt mit Vattenfall den Mini mit einem 204 PS starken Elektromotor in Berlin auf die Straße und in München mit Unterstützung von E.ON. 500 Elek-

¹⁰⁹ enerigate (2009b).

trominis mit einer Reichweite von 250 Kilometern sind bereits produziert worden. Weitere Erfahrungen werden demnächst auch in den USA und in Glasgow gewonnen. Dabei stehen Praxistauglichkeit und Nutzerakzeptanz im Mittelpunkt, um Rückschlüsse auf eine künftige Serienproduktion von Elektrofahrzeugen zu ziehen. Es sollen aber auch umfassende praktische Erfahrungen zur Weiterentwicklung von Batterien und Ladeinfrastruktur gesammelt werden. Ein interdisziplinäres Forscherteam wird das Projekt begleiten und die Daten auswerten.

Daimler geht in Berlin zusammen mit RWE mit über 100 Elektromarts in die Offensive. RWE übernimmt dabei die Entwicklung, den Aufbau und Betrieb der Ladeinfrastruktur mit rund 500 Stromladepunkten, die Stromlieferung und die zentrale Systemsteuerung. Der Zahlungsverkehr wird durch den Datenaustausch zwischen einem speziellen Kommunikationssystem im Fahrzeug und der intelligenten Ladestation ermöglicht. Die Ladestationen werden beim Kunden zu Hause, am Arbeitsplatz und im öffentlichen Parkraum installiert. Außerdem werden Business-to-Business-Partner, wie Shoppingzentren, Parkhäuser oder Flottenkunden, in die Infrastruktur eingebunden.

Das neue Projekt profitiert auch von den Erfahrungen, die Daimler im Rahmen des laufenden Pilotversuchs zur Elektromobilität in London gesammelt hat. Dort ist seit dem vorigen Jahr eine Testflotte mit E-Smart der ersten Generation erfolgreich im täglichen Einsatz, unter anderem bei Behörden wie der Polizei. Insgesamt könnten in europäischen und amerikanischen Metropolen bis zu 1 000 dieser elektrischen Stadtmobile mit 150 Kilometer Reichweite wichtige Praxisdaten liefern. Parallel sollen in Hamburg die Versuche mit Brennstoffzellen in Bussen und 20 Mercedes B-Klasse-Fahrzeugen ausgeweitet werden. Der benötigte Wasserstoff kommt hierbei aus speziellen Tankstellen des Energieversorgers Vattenfall.

Dass Daimler damit auf dem richtigen Weg ist, zeigte jüngst der Einstieg Abu Dhabis als Großaktionär. Mit Daimler möchte das Emirat den Übergang von Verbrennungsmotoren auf alternative Antriebe noch stärker vorantreiben und sich so für die Nach-Erdöl-Ära rüsten.

Ganz aktuell ist die Ankündigung von Daimler, mit anderen führenden Industrieunternehmen (Linde, EnBW, OMV, Shell, Total und Vattenfall) eine Initiative zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur zu gründen. Darin sollen Möglichkeiten für den Aufbau einer flächendeckenden Infrastruktur zur Versorgung mit Wasserstoff in Deutschland geprüft werden, um die Serienfertigung von Elektrofahrzeugen mit Brennstoffzelle voranzutreiben.

Diese Initiative sieht zwei Phasen vor. In Phase I sollen verschiedene Optionen für den bundesweiten Aufbau eines Wasserstofftankstellennetzes sowie die Entwicklung eines gemeinsamen, wirtschaftlich tragfähigen Geschäftskonzeptes unter Berücksichtigung möglicher Förderungen durch die Öffentliche Hand untersucht werden. In dieser Phase sollen Konzepte für den Aufbau von neuen, zusätzlichen Wasserstofftankstellen bis zum Jahr 2011 entwickelt werden. Gefördert werden diese Aktivitäten durch Mittel aus dem Konjunkturpaket II der Bundesregierung und anderen Programmen auf Bundes- und Landesebene, damit Fragen zur Standardisierung und Kostensenkung ganzheitlich und gemeinschaftlich angegangen werden können.

Sollte sich das Geschäftskonzept für alle Beteiligten positiv entwickeln, werden die Partner in Phase II einen entsprechenden Aktionsplan umsetzen. Ziel dieses Aktionsplans wird es sein, den bundesweiten Ausbau eines Wasserstofftankstellennetzes fortzusetzen, um parallel die ab etwa 2015 vorgesehene Kommerzialisierung von Elektrofahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb in Deutschland auch mit der entsprechenden Infrastruktur zu ergänzen.

Renault-Nissan hat unter anderem ein Abkommen mit dem Stromversorger Electricité de France (EDF) geschlossen. Bis Anfang 2010 sollen der Energiebedarf und die entsprechende Zahl an Ladestationen, die für die ab 2011 geplante Einführung von Elektroautos notwendig sind, ermittelt werden. Anschließend wollen die Partner einen Betreiber für Elektromobilität ins Leben rufen. Dieser Anbieter wird ein landesweites Infrastrukturnetzwerk von Lade- und Batteriewechselstationen errichten.

Dabei wird Frankreich einer der ersten Märkte sein, in denen reine E-Mobile von Renault-Nissan ausgeliefert werden. Außerdem bestehen Partnerschaften dieser Allianz mit Israel, Dänemark, Portugal und Kanagawa in der japanischen Region Yokohama. In den USA plant Renault-Nissan neben der Allianz mit EDF zusätzlich mit dem Energiekonzern San Diego Gas & Electric ein emissionsfreies Mobilitätsprogramm für die kalifornische Stadt, wo beide Unternehmen ein flächendeckendes Netz von Ladestellen für Elektrofahrzeuge aufbauen wollen. Zudem hat Renault-Nissan weitere Kooperationsabkommen mit Städten, Landkreisen oder Bundesstaaten vor allem im Südwesten der USA geschlossen, so unter anderem mit Oregon, Tennessee, Sonoma County, Seattle, Phoenix, San Diego, Tucson oder Raleigh.

Im Nordosten Englands soll gemeinsam mit Nissan eine Machbarkeitsstudie für den Einsatz von Elektroautos erarbeitet werden. Der Hersteller besitzt dort eine seiner größten Produktionsstätten in Europa und plant eine Spezialisierung auf Elektrofahrzeuge.

Auch General Motors (Europa) und der spanische Energieversorger Iberdrola wollen die Elektromobilität weiter voranbringen. Dafür haben beide Unternehmen ein Abkommen geschlossen, mit dem die Umsetzung der Infrastruktur von Aufladestationen für Plug-in-Elektrofahrzeuge geprüft werden soll. Die in Spanien und Großbritannien stattfindende Studie will dabei der Frage nachgehen, welche Voraussetzungen für einen sicheren und vor allem benutzerfreundlichen Aufladevorgang notwendig sind. Hier soll untersucht werden, wie der Aufladevorgang der Batterien an öffentlichen Plätzen oder in Privathäusern optimal gestaltet werden kann.

Beide Unternehmen nehmen bereits an einem bedeutenden internationalen Projekt bezüglich Plug-in-Elektrofahrzeugen teil, welches von dem renommierten Electric Power Research Institute (EPRI) in den Vereinigten Staaten koordiniert wird. An dem Projekt sind weitere 41 Unternehmen der Elektroindustrie weltweit beteiligt.

Neben den Autoherstellern selbst prüfen auch schon Autovermieter, wie sie von der Elektromobilität profitieren können. So gingen zum Beispiel Sixt und RWE eine Kooperation im Bereich Elektromobilität ein. Ziel ist es, im Rahmen der RWE-Roadshow Stromladesäulen für Elektro-

fahrzeuge an ausgewählten Sixt-Stationen aufzubauen. Hier werden die Fahrzeuge »betankt«, und mit der Einrichtung der Ladesäulen wird gleichzeitig die Infrastruktur für die Elektromobilität ausgebaut. Autofahrer haben dabei die Möglichkeit, attraktive Automodelle mit Elektroantrieb wie den eRuf Greenster oder den Tesla Roadster zu testen. Sixt übernimmt dabei die Organisation von Testfahrten.

RWE und die APCOA Autoparking GmbH kooperieren ebenfalls im Bereich der E-Mobilität. Die Unternehmen starten schrittweise gemeinsam den Aufbau von Stromladestationen für Elektroautos in öffentlich zugänglichem Parkraum. Dadurch können E-Fahrzeuge komfortabel – etwa während des Einkaufs – wieder aufgeladen werden.

Zunächst entstehen RWE-Ladestationen in 20 Berliner APCOA-Parkgaragen in zentralen Einkaufslagen, zum Beispiel am Alexanderplatz oder am Brandenburger Tor. In einem weiteren Schritt wird auch in Parkhäusern anderer großer Städte, wie Hamburg, Düsseldorf, Frankfurt, Stuttgart und München, die RWE-Ladeinfrastruktur aufgebaut. RWE rückt mit dieser strategischen Kooperation seinem Ziel ein Stück näher, bundesweit ein flächendeckendes Tankstellennetz für Elektrofahrzeuge aufzubauen.

Der Flottenversuch Elektromobilität wird von insgesamt acht deutschen Kooperationspartnern aus Forschung und Wirtschaft durchgeführt. Der im Projekt federführenden Volkswagen AG stehen dabei die Unternehmen E.ON sowie GAIA und Evonik/Li-Tec zur Seite. Aus dem Bereich der Forschung bringen die Fraunhofer Gesellschaft, das Heidelberger Ifeu, das Institut für Verkehrsforschung der DLR und die Westfälische Wilhelms-Universität Münster ihr Know-how in den Flottenversuch ein. Ziel des groß angelegten Projekts ist es, die Testflotte mit regenerativ erzeugtem Strom (via Wind-, Wasser- und Sonnenkraft) anzutreiben. Dafür (und auch für Konzepte zur »Be-tankung« der Batterien und deren Abrechnung etc.) wurde E.ON ins Boot geholt. Forciert werden soll auch die Serienentwicklung von preisgünstigen Hochleistungsbatterien (GAIA, Evonik). Volkswagen kooperiert zusätzlich noch mit Sanyo auf dem Gebiet der Akkutechnologie und seit Kurzem auch mit Toshiba bei Elektroantrieben, um die Forschung gemeinsam voranzutreiben.

Abschließend bleibt zu sagen, dass bisher schon viele Kooperationen eingegangen wurden. Quantifizierbare Ergebnisse aus diesen Forschungs- und Entwicklungsprojekten sind bisher aber noch nicht hervorgegangen beziehungsweise veröffentlicht worden.

4.4 Staatliche Fördermaßnahmen

Wie schon oben erwähnt, ist es zur schnelleren Umsetzung unbedingt notwendig, dass der Staat Hilfen gewährt. In welcher Art und Weise dies geschieht, soll hier nicht bewertet werden. Wichtig ist aber, dass die Subventionen den Endverbrauchern wie auch der Industrie zugutekommen, um beiden Seiten einen Anreiz zu geben. Für die Konsumenten dürfte die einfachste Form der Unterstützung ein Steuernachlass sein. Für Unternehmen erscheinen Forschungs- und Entwicklungszuschüsse sehr sinnvoll.

Deutschland hat mit seinem Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität einen ersten Schritt getan. Die Regierung will Deutschland damit rechtzeitig positionieren, um im globalen Wettbewerb im Bereich der Elektromobilität nicht ins Hintertreffen zu geraten. Vor allem die USA, Japan und China, aber auch diverse europäische Länder unterstützen ihre Industrien und Forschungslandschaften sowie die Käufer von Elektrofahrzeugen bereits mit mehr oder weniger umfangreichen Programmen auf dem Weg zur Elektromobilität. Hier eine Auswahl:

USA

In den USA soll bis 2015 mindestens eine Million Plug-in-Hybrid- und Elektrofahrzeuge im Einsatz sein. 2,4 Mrd. US-Dollar aus dem »Recovery and Reinvestment Act 2009« werden bereitgestellt, entsprechende Autos zu bauen und Batteriekomponenten zu entwickeln. Bürger, die ein solches Fahrzeug kaufen, erhalten eine Steuergutschrift in Höhe von bis zu 7 500 US-Dollar.

Japan

Die Regierung hat angekündigt, dass im Jahr 2020 die Hälfte aller neu zugelassenen Fahrzeuge elektrisch angetrieben werden soll. Um dies zu unterstützen, fördert sie zum Beispiel den Aufbau von 150 Stromzapfsäulen in der Region Kanagawa. Zudem fließen in den nächsten fünf Jahren 200 Mio. US-Dollar in die Batterieforschung mit dem Ziel, die Kosten je Batteriezelle um die Hälfte zu reduzieren. Käufer von Autos zahlen in Japan eine Steuer in Höhe von normalerweise 5% des Kaufpreises sowie einen weiteren Betrag in Abhängigkeit vom Gewicht des Fahrzeugs. Vorschläge sehen vor, dass diese Kosten beim Kauf von Elektro- oder Hybridfahrzeugen völlig entfallen und bei anderen kraftstoffsparenden Fahrzeugen zumindest reduziert werden sollen.

China

China wird als einer der größten Treiber der Elektromobilität bezeichnet. Schon heute befinden sich dort 16 der 20 Städte mit der höchsten Luftverschmutzung weltweit. Die erwartete Verdreifachung der Zahl verkaufter Autos von derzeit jährlich knapp 10 Mio. auf 30 bis 35 Mio. im Jahr 2020 würde diese Situation noch verschärfen. Damit scheint China prädestiniert für den Einsatz von E-Autos, zumal dort in der Regel nur kurze Strecken mit dem Auto zurückgelegt werden. Bereits heute sind

über 40 Mio. Elektroroller im Einsatz, bis 2011 soll eine halbe Million Elektro- beziehungsweise Hybridautos folgen. Roland Berger prognostiziert, dass in China im Jahr 2020 über 50 % aller Fahrzeuge elektrisch fahren werden. Zukünftig sollen unter anderem die Verkaufspreise für Hybridfahrzeuge gesenkt werden, was die chinesische Regierung als wesentlich für die Marktdurchdringung der Elektromobilität erachtet. Zudem soll jeder Kauf mit 6 700 Euro unterstützt werden. Flottenbetreiber wie Taxiunternehmen sollen Subventionen von bis zu 5 300 Euro für den Kauf eines Hybridfahrzeugs und von bis zu 5 360 Euro für ein Elektroauto erhalten. China plant Null-Emissions-Zonen, in die neben Fahrrädern nur Elektrofahrzeuge fahren dürfen.

Gleichzeitig sieht China im Elektroauto eine Möglichkeit, an die westliche Automobilindustrie anzuschließen – Anlass für Chinas Regierung, technologische Innovationen im Bereich effizienter Antriebstechnologien mit über 100 Mio. Euro zu fördern. Vorreiter dürfte »Build Your Dreams« (BYD) sein, ein Unternehmen, das seit 2008 Hybridfahrzeuge anbietet und 2009 Elektroautos folgen lassen will. Renault-Nissan soll der Provinz Wuhan Know-how in Form von technischen Daten über Elektroautos sowie Pläne für Stromtankstellen und die Masseneinführung von Elektrofahrzeugen zur Verfügung stellen. Im Gegenzug darf Renault-Nissan dort Produktionskapazitäten für ihre Batterien und Elektroautos aufbauen. Anfang 2011 sollen die ersten Fahrzeuge in China auf den Markt gebracht werden. Die Ausweitung dieses Pilotprojekts auf weitere 13 Städte ist bereits mit dem chinesischen Industrieministerium vereinbart.

Deutschland

Die Bundesregierung stellt im zweiten Konjunkturpaket bis 2011 zusätzlich 500 Mio. Euro über Förderprogramme beziehungsweise KfW-Kredite bereit, um die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für Elektromobilität bis zum Jahr 2020 zu beschleunigen. Allerdings stehen diese Gelder auch für Themen wie Biokraftstoffe, Wasserstoff und Brennstoffzellen zur Verfügung. Gemeinsam mit dem Konjunkturpaket I steigert die Bundesregierung ihre Gesamtaufwendungen in diesem Sektor damit auf über 700 Mio. Euro. Inhaltliche Schwerpunkte des Programms sind:

- Forschung und Entwicklung (zum Beispiel Zell- und Batterieentwicklung, Netzintegration, Energiemanagement, Kompetenzaufbau)
- Markt- und Technologievorbereitung
- Etablierung von Modellregionen

115 Mio. Euro davon werden für den Förderschwerpunkt »Modellregionen Elektromobilität« verwendet. Es wurden acht Regionen unter allen 130 Bewerbungen ausgesucht, in denen nun Pilotprojekte zur Erprobung und Marktvorbereitung von Elektroautos mit Mitteln des Förderprogramms starten werden: Berlin/Potsdam, Bremen/Oldenburg, Hamburg, München, Rhein-Main, Rhein-Ruhr (mit Schwerpunkten Aachen und Münster), Sachsen (mit Schwerpunkten Dresden und Leipzig) und Stuttgart. Immer geht es um die effektive Einbindung von Pkws, Öffentlichem

Personennahverkehr (ÖPNV), Liefer- und Nutzfahrzeugen und Zweirädern mit alternativen Antrieben sowie den nutzerfreundlichen und sicheren Aufbau einer Ladeinfrastruktur.

Ein weiterer Teil des zweiten Konjunkturpaketes in Höhe von 60 Mio. Euro ist für die Förderung von Maßnahmen vorgesehen, die auf Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) im Bereich der E-Mobilität basieren. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) schafft dazu den Förderschwerpunkt »IKT für Elektromobilität« (40 Mio. Euro), der durch umweltpolitische Förderaktivitäten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in Höhe von 20 Mio. Euro ergänzt wird. Hier wird ebenfalls das Ziel verfolgt, Konzepte, die sich bei einzelnen Städten als tragfähig erwiesen haben, auf andere Städte in Deutschland zu übertragen. Es gilt, Insellösungen zu vermeiden, indem man Akteure, die sich heute schon stark im Bereich Elektromobilität engagieren, in die Konzeptionsphase einbezieht.

Entscheidend sind zudem leistungsstärkere Batterien. Deutschland stellt über das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für deren Entwicklung in den nächsten vier Jahren 60 Mio. Euro bereit. Ein Industriekonsortium aus BASF, Bosch, Evonik, Li-Tec und Volkswagen investiert weitere 360 Mio. Euro.

Nicht zuletzt sollen stadtplanerische und städtebauliche Aspekte in E-Mobilitätskonzepten Berücksichtigung finden. Ende Mai 2009 wurden mit Mannheim und dem Landkreis Harz die Gewinner des in diesem Rahmen ausgeschriebenen BMU-Wettbewerbs »Intelligente Netze, erneuerbare Energien und Elektromobilität« ermittelt. Beiden Regionen stehen bis Ende 2010 rund 10 Mio. Euro zur Verfügung. Im Projekt »RegMod-Harz« sollen rund um Halberstadt, Wernigerode und Quedlinburg 25 Elektrofahrzeuge die Potenziale der Elektromobilität in eher ländlichen Gebieten testen. In Mannheim wird SAP im Rahmen des Projektes »Green Fleet« seinen Fuhrpark um etwa 100 Elektrofahrzeuge ausbauen. Die Mannheimer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft (MVV) liefert den benötigten Strom aus erneuerbaren Energien, später soll dieser vor Ort aus Photovoltaik-Anlagen erzeugt werden.

Insgesamt 12 Mio. Euro investieren Bund und Unternehmen in ein Forschungsprojekt in Sachsen-Anhalt, in dem Stromtankstellen für Elektroautos entwickelt werden sollen. 7 Mio. Euro davon stammen aus dem staatlichen Konjunkturpaket II, der Rest aus der Wirtschaft. Der Erlass der Kfz-Steuer über fünf Jahre ist momentan der einzige Vorteil, den die Bundesregierung den Käufern von Elektroautos gewährt. Vergleicht man die Summe, die die Bundesregierung für die Umweltprämie (Volksmund: Abwrackprämie) bereitgestellt hat (5 Mrd. Euro), mit der Summe, die bisher für die Einführung eines neuen E-Mobilitätskonzeptes avisiert wurde (500 Mio. Euro), könnte man bezweifeln, dass das Ziel, eine Million Autos mit einem E-Antrieb bis 2020 auf deutsche Straßen zu bringen, tatsächlich erreicht werden kann.

Im Vergleich zu den Subventionen anderer Staaten nimmt sich der Gesamtbetrag von immerhin über 700 Mio. Euro gering aus, wenn Frankreich in den kommenden vier Jahren 400 Mio. Euro allein in den Bereich Batterietechnik investiert. China will mit 1 Mrd. Euro die Entwicklung effi-

zienterer Antriebstechniken fördern. Und neben dem 150 Mrd. US-Dollar umfassenden US-Programm Energietechnologie, das auf zehn Jahre angelegt ist, stehen dort 2 Mrd. US-Dollar für Batterietechnologie und Komponenten für Elektrofahrzeuge bereit.

Auf mittlere Sicht muss die Bundesregierung aufpassen, das anvisierte Ziel, Deutschland bei der Elektromobilität zu einem Technologieführer zu machen, nicht zu verpassen. Vor allem auch aufgrund der Tatsache, dass neue Wettbewerber nicht unbedingt aus dem Automobilsektor stammen müssen (siehe zum Beispiel BYD).

4.5 Neue Geschäftsmodelle

Dass ein Technologiesprung neue Geschäftsmodelle und damit neue Wettbewerber mit sich bringen kann, haben wir schon des Öfteren erlebt. Ein gutes Beispiel war die Weiterentwicklung des Telefonierens über das Festnetz hin zum Mobilfunk. Die neuen Konkurrenten von Deutsche Telekom kamen mit Mannesmann, VEBA und VIAG aus Sektoren außerhalb der Telekombranche.

Um das Wachstum anzukurbeln, wurden Mobiltelefone von den Anbietern anfangs vollständig subventioniert, das heißt, der Endnutzer musste sich kein Telefon kaufen, sondern er zahlte es über die telefonierten Minuten und Grundpreise ab. Diese Subventionen wurden mit zunehmender Marktsättigung schrittweise reduziert.

Parallel zu den neuen Mobilfunkgesellschaften haben sich reine »Vermarkter« wie zum Beispiel Debitel oder Mobilcom am Markt etabliert, die Minutenpakete der Telekomgesellschaften weiterverkauften. Später traten mit Aldi und Tchibo auch Einzelhandelsketten auf den Markt, die in ihren Filialen unter ihrem eigenen Namen Produkte der großen Telekomanbieter weitervermarkteten. Ähnliche Modelle sind auch im Bereich der Elektromobilität denkbar.

So hat als »Marktneuling« das Unternehmen Better Place bereits damit begonnen, auf Basis vorhandener Technologien eine flächendeckende Infrastruktur für den Betrieb von Elektrofahrzeugen vorzubereiten. Vorerst befindet sich das Unternehmen aufgrund seiner Größe – bisher hat das Unternehmen immerhin 200 Mio. US-Dollar an Eigenkapital am Markt aufgenommen – quasi noch in einer Testphase. Dieses revolutionäre Mobilitätskonzept kombiniert aus technologischer Sicht fünf Elemente zu einer innovativen Lösung mit einem neuen Geschäftsmodell: Elektrofahrzeuge, Batterien, Ladestationen, Batteriewechselstationen und erneuerbare Energien. Der Endverbraucher erhält von Better Place eine vollständige Mobilitätslösung, indem er auf monatlicher Subskriptionsbasis¹¹⁰ Kilometer erwirbt. Darin enthalten sind die notwendige Energie (Strom), die Batterie und auch die Nutzung der Infrastruktur sowie ein vergünstigtes Elektroauto.

In Israel wird in Tel Aviv an einer flächendeckenden Infrastruktur zum Betrieb von Elektroautos gearbeitet. An speziellen Batterie-Tankstellen sollen leere Akkus schnell gegen volle gewechselt werden. Die ersten für 2011 vorgesehenen Fahrzeuge werden vom Autokonzern Renault-Nissan geliefert.

¹¹⁰ Ähnlich einem Mobilfunkvertrag mit einer festgelegten Anzahl kostenfreier Minuten, bei dem eine fixe monatliche Zahlung zu tätigen ist. Teil des Vertrages kann auch ein Mobiltelefon sein. Wird der vereinbarte Grundfreibetrag überschritten, entstehen zusätzliche Gebühren.

In Kalifornien sind bis 2012 über 250 000 Ladestationen und 200 Austauschstationen geplant. Better Place startet dort zunächst in der San Francisco Bay Area. Die Netzwerkplanung hat begonnen, ab 2010 soll der Aufbau der Infrastruktur folgen. Die Gesamtkosten veranschlagt das Unternehmen auf mehr als eine Milliarde US-Dollar. Better Place verhandelt nach eigenen Angaben mit 25 weiteren Staaten über den Aufbau einer Infrastruktur für E-Autos. Weitere Projekte von Better Place starten derzeit in Australien, Dänemark, Japan und Kanada.¹¹¹ In der Tat erinnert dieses Geschäftsmodell sehr stark an die oben genannte Entwicklung im Mobilfunk. Der große Unterschied liegt allerdings im Preis. Kostete ein Mobiltelefon damals in der Anschaffung mehrere Hundert Euro, liegt der Preis für eine Autobatterie, geschweige denn das gesamte Elektromobil, deutlich höher.

Generell muss bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen den Kundenbedürfnissen sowie Ängsten bezüglich der Kosten oder Einschränkungen der Mobilität Rechnung getragen werden, um eine möglichst schnelle Einführung zu gewährleisten. Lösungen sollten neben der reinen Energielieferung zumindest folgende Aspekte berücksichtigen:¹¹²

- Finanzierung der teuren Batterien und Gewährleistung der Haltbarkeit während der Lebensdauer des Fahrzeugs, zum Beispiel über Leasingmodelle, bei denen auch der Energieverbrauch per sogenannter Flatrate enthalten ist.
- Mobilitätsgarantien, falls der Fahrer unerwartet zu wenig Batterieleistung zur Verfügung hat. Dies kann entweder durch Versicherungsleistungen oder komplette Mobilitätskonzepte unter Einbindung des öffentlichen Nah- und Fernverkehrs, von Mietwagen, CarSharing oder Taxis erfolgen.
- Garantierte Verfügbarkeit freier Ladestationen oder Möglichkeit zum kurzfristigen Batterietausch. Eventuell auch Einbindung privater Anschlüsse in Garagen zur Aufladung für Dritte.
- Anreize zum Anschluss des Fahrzeugs an das Stromnetz auch ohne Ladebedarf, zum Beispiel durch attraktive Vergütung der entnommenen Energie oder die Zahlung von Prämien.
- Dies hat zur Folge, dass über die Versorgung hinaus vor allem Finanzdienstleistungen wie Leasing und spezielle Versicherungen eine Rolle spielen werden.
- Für Dienstleister wie Autovermieter, Batteriewechsler oder den ADAC entwickeln sich vollkommen neue Perspektiven, aber auch Herausforderungen.
- Insgesamt müssen Fahrzeuge, Dienstleister und Energieversorger eng miteinander kommunizieren und über standardisierte, zum Teil markenunabhängige Angebote eine flächendeckende Mobilität gewährleisten.
- Kommen neben Batterieladestationen auch Induktionsschleifen in den Straßen hinzu, sind wiederum andere Abrechnungsmodelle zu entwickeln, die die Komplexität der Entnahmesituation während der Fahrt berücksichtigen.

Grundsätzlich ist denkbar, dass Energieversorger, die bisher allenfalls im Bereich der Erdgasversorgung eine Rolle im Individualverkehr gespielt haben, einen Großteil der Wertschöpfung übernehmen. Die Versorger waren es ja auch, die im Mobilfunk Erfahrungen mit einem branchenfremden

¹¹¹ Nachhaltigkeitsrat (2008).
¹¹² Kreuzer Consulting (2009).

Arbeitsgebiet gesammelt haben. Da die Energieversorger als Einzige ein Interesse daran haben, die Autobatterien als Pufferspeicher beispielsweise für erneuerbare Energien zu nutzen, ist eine tragende Rolle der Branche bei der Entwicklung der nötigen Technologie sogar zwingend erforderlich.

Möglich ist aber auch, dass die Automobilhersteller oder Mineralölkonzerne mit ihren Tankstellenketten große Teile der Wertschöpfung vereinnahmen wollen. Wie schon gesagt, können sich auch ganz neue Akteure am Markt etablieren, die mit innovativen Ideen die Marktentwicklung prägen, wie zum Beispiel Abrechnungsdienstleister, die sich nur in diesem Teil der Wertschöpfungskette engagieren. Hier könnte eventuell auch die Mobilfunkbranche einen Teil übernehmen. Zum einen könnten Mobiltelefone bei der Aktivierung von Stromladestationen eingesetzt werden, und zum anderen könnte dann auch gleichzeitig die Abrechnung vom Mobilfunkanbieter übernommen werden. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht, dass Stromlieferung und Vermarktung durchaus von unterschiedlichen Anbietern vorgenommen werden können.

Wie bereits erwähnt, ist auch denkbar, dass der Besitzer eines Elektroautos die in seiner Batterie gespeicherte Energie zu Tageszeiten, in denen viel Strom verbraucht wird, wieder zurück an das Netz abgeben kann – und zwar zu höheren Preisen als beim Einkauf. Damit kann er Erlöse erzielen, die ihm bei der Finanzierung des E-Autos helfen. Auch hier könnten sich neue Anbieter etablieren, die die Abrechnung für den Kunden übernehmen. Ein weiteres Geschäftsmodell hat das Unternehmen 365 Energy aus den Niederlanden vorgestellt: intelligente Strom-Ladestationen für Elektrofahrzeuge in Verbindung mit innovativen Dienstleistungen.¹¹³

113 365 Energy Group (2009).

Schnittstelle: Stromlieferung / Vermarktung Mobilität

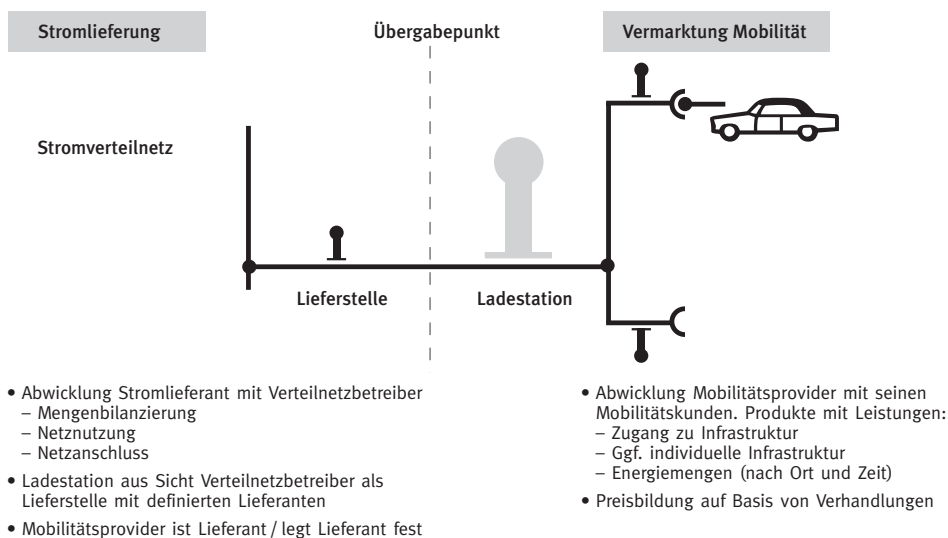


Abb. 23

Quelle: RWE AG (2008).

Die Ladestationen von 365 Energy sind weitaus mehr als einfache Stromtankstellen: Die einzelnen Zapfsäulen verbindet ein Netzwerk, das eine Fernüberwachung der Stationen erlaubt. Die hinter den Stationen stehende Netzwerktechnik wickelt außerdem die Anmeldung der Fahrer an den Stationen sowie die Abrechnung sicher ab. Fahrer von Elektroautos können sich auf einer Webseite für den Service anmelden. Sie erhalten dann eine ChargePoint-Smart Card, mit der sie die öffentliche Infrastruktur nutzen können.

Über eine interaktive Google-Map kann der Fahrer in der Nähe verfügbare Ladestationen finden und auch gleich sehen, ob diese gerade frei sind. Er kann außerdem im Internet-Nutzerportal seinen Wunsch-Standort für einen neuen ChargePoint angeben. Die Ladestationen können unabhängig vom Fahrzeugtyp und vom jeweiligen Stromanbieter genutzt werden. Ähnlich den Roaming-Angeboten der Mobilfunkbetreiber ermöglicht das ChargePoint-Netzwerk Fahrern von Elektroautos theoretisch grenzüberschreitend problemloses Aufladen der Fahrzeugakkus.

Wie stark sich die einzelnen Anbieter auf dem Markt der Elektromobilität engagieren wollen, das heißt, welchen Anteil einer möglichen Wertschöpfungskette sie abdecken wollen, wird einerseits von der Finanzkraft des Unternehmens abhängen und andererseits von den technologischen Möglichkeiten des Unternehmens. Es ist auch vorstellbar, dass ein Unternehmen anfangs nur einen Teil der Wertschöpfungskette bedient, das Geschäftsmodell aber später auch auf weitere Bereiche dieser Kette – durch Zukäufe oder Weiterentwicklung – ausweitet.

Eine mögliche Wertschöpfungskette der Elektromobilität

1. Die Energieversorger integrieren alle Energieformen – von fossil bis zu erneuerbar. Entsprechend flexibel und belastbar müssen die intelligenten Netze der Zukunft sein.
2. In öffentlichen Gebäuden und auf großen Parkplätzen wird eine Infrastruktur aus Ladestationen und Abrechnungsgeräten zur Verfügung gestellt.
3. Die Batterie des Elektroautos von morgen kann nicht nur Strom speichern, sondern bei Bedarf auch wieder ins Netz zurückspeisen. Mit internetfähigen Mobiltelefonen können künftig alle wichtigen Parameter wie bei einem intelligenten Stromzähler (Smart Metering) angezeigt werden.
4. Strom wird wie eine Aktie gehandelt, und jeder Fahrer eines Elektroautos kann kaufen oder verkaufen – je nach Preis des Stroms.
5. Das künftige Elektroauto ermöglicht völlig neue Fahrzeugkonzepte – ohne Bremse und Kupplung, mit neuen elektronischen Fahrerassistenzsystemen für Komfort, Entertainment und Sicherheit. Dienstleister könnten mit übergreifenden Standards Elektromobilität zu einem Gesamtpaket schnüren und anbieten. Der Fahrer bezahlt dann nicht für das Auto, sondern für die gefahrenen Kilometer.

Kasten 13

Quelle: Siemens AG (2009).

Literatur- und Quellenverzeichnis

Teil A

- Addison, J. (2007): Cool Commutes, *Clean Fleet Articles*.
- Alonso, W. (1964): Location and Land Use: Toward a general theory of land rent, Harvard University Press.
- Boeing, N. (2009): Sprit aus Biomachines, in: *Die Zeit* vom 16.7.2009, Nr. 30, S. 33.
- Bräuning, M.; D. Schneider (2009): Der Automobilmarkt in Deutschland, *HWWI Policy Paper*, 1-15, Hamburg, Juni, ISSN 1862-4960.
- Bräuning, M., Leschus, L., Vöpel, H. (2006): Biokraftstoffe – Option für die Zukunft? Ziele, Konzepte, Erfahrungen, *HWWI Policy Report*, Nr. 01, Hamburg.
- Bräuning, M.; Leschus, L.; Vöpel, H. (2007): Biokraftstoffe und Nachhaltigkeit – Ziele, Probleme, Instrumente, Lösungen, *HWWI Policy Report*, Nr. 05, Hamburg.
- Bräuning, M.; Schulze, S.; Straubhaar, T. (2007): Ökologische Steuerreform in der Schweiz, Gutachten im Auftrag von economieuisse – Verband der Schweizer Unternehmen, *HWWI Policy Paper* 1-5, Hamburg.
- Broere, W. (2008): Harvesting Energy from Algae, *Shell World*, 15. February 2008.
- Bröcker, J. (1988): Das Gleichgewicht auf dem Bodenmarkt einer monozentrischen Stadt, in: *WiSt*, Nr. 17, S. 556-562.
- Bundesagentur für Arbeit (2008): Beschäftigung in Deutschland.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (2005): Demografischer Wandel und Mobilität, Ergebnisbericht, August 2005.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2006a): Mobilitätsentwicklung bis 2050.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2009): Chancen und Risiken steigender Verkehrskosten für die Stadt- und Siedlungsentwicklung unter Beachtung der Aspekte der postfossilen Mobilität, Vorstudie, März 2009.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2006): Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Berlin.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2009): Zahlen und Fakten – Energiedaten – Nationale und Internationale Entwicklung, Berlin.
- Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg (2008): Haushaltsplan 2009/2010.
- Clean Energy Partnership (CEP) (2007): Bericht 2002-2007, Bonn-Berlin.
- Deutsch-Chinesisches Kooperationsbüro für Industrie und Handel GmbH (DCKIH) (2008): Gleiches Recht für alle: Beitrag zur Diskussion über den weltweiten Klimawandel und wirtschaftliche Globalisierung, Tutzing.
- Deutsche Bundesregierung (2008): Sachstand und Eckpunkte zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität, 19. November 2008, Berlin.
- Deutscher Bundestag (2008): Gesetzentwurf der Bundesregierung zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen, Drs.-Nr. 16/11131, 1.12.2008.
- Einig, K.; Pütz, T. (2007): Regionale Dynamik der Pendlergesellschaft, Entwicklung von Verflechtungsmustern und Pendeldistanzen, in: *Informationen zur Raumentwicklung*, Heft 2/3 2007, S. 73-91.
- EUCAR/JRC/CONCAWE (2007a): Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context – Well-to-Wheels Report, March 2007, o. O.
- EUCAR/JRC/CONCAWE (2007b): Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context – Well-to-Tank Report, March 2007, o. O.
- Europäische Kommission (2008): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, 2008/0016 (COD), 23.1.2008.
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2009): Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, April 2009.
- European Environment Agency (2006): Transport and environment: Facing a dilemma, TERM 2005: indicators tracking transport and environment in the European Union, *EEA Report*, No.3/2006.
- Eurostat (2005): Statistik kurz gefasst 5/2005: Verkehr: Kurzstreckenmobilität in Europa.
- FAO (Food and Agriculture Organisation) (2006): World Agriculture: Towards 2030/2050. Interim Report 2006.
- FAO (2009): OECD-FAO Agricultural Outlook 2009-2018.
- Fritsche, U. (2007): Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung, Öko-Institut, März 2007, Darmstadt.
- Fuchs, R.; Pütz, M. (2003): Stadtplanung und Stadtentwicklung.
- Gallagher, E. (2008): The Gallagher Review of the indirect effects of biofuels production, July 2008, o. O.
- GlobeScan; MRC McLean Hazel (2007): Megacities und ihre Herausforderungen: Die Perspektive der Städte, Forschungsprojekt in Kooperation mit der Siemens AG.
- Hanly, M.; Dargay, J.; Goodwin, P. (2002): Review of Income and Price Elasticities in the Demand for Road Traffic, ESRC-TSU, 13/2002.
- Herz, C.; Schneider, M. (2008): Autobranche fährt mit Strom, in: *Handelsblatt* vom 20. Mai 2008, S. 12.
- Holzhausen, A. (2004). Durchsetzung neuer Antriebstechnologien bei Automobilen – eine netzwerkökonomische Betrachtung, Berlin.

- Höhne, N.; Eisbrenner, K.; Hagemann, M.; Moltmann, S. (2009): G8 Climate Scorecards 2009, WWF und Allianz.
- IEA (2008a): World Energy Outlook 2008, Paris.
- IEA (2008b): From 1st- to 2nd-Generation Biofuel Technologies – An overview of current industry and RD & D activities, Paris.
- Institut für Energie- und Umweltforschung (2008): Criteria for a sustainable use of bioenergy on a global scale, Umweltbundesamt 2008.
- Institut für Mobilitätsforschung (Ifmo) (2002): Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2020.
- ITS Magazine (2006): Zwischen Moloch und Metropole, 1/2006.
- Kühn; Fröming; Schindler (2006): Fußgängerschutz - Unfallgeschehen, Fahrzeuggestaltung, Testverfahren, Springer-Verlag 2006.
- Leschus, L.; Vöpel, H. (2008): Wasserstoff im Verkehr – Anwendungen, Perspektiven und Handlungsoptionen, HWWI Policy Report, Nr. 09, Hamburg.
- Loges, B.; Boddien, A.; June, H.; Beller, M. (2008): Controlled Generation of Hydrogen from Formic Acid Amine Adducts at Room Temperature and Application in H₂/O₂ Fuel Cells, *Angewandte Chemie International Edition*, Nr. 47.
- Maaß, C. (2009): Hamburg. Application for the title as European Green Capital.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2007): *New Era*, Vol. 60, Japan.
- Multifunctional Administrative City Construction Agency (2008): Multi-functional Administrative City in the Republic of Korea.
- Nee, S. C. (2007) *The Star*, Malaysia.
- Organisation for economic co-operation and development (OECD) (2006): Infrastructure to 2030 – Telecom, land transport, Water and electricity, OECD Publishing, Paris.
- OECD (2008): OECD Environmental Outlook to 2030, Paris.
- o. V. (2009), Neue Motoren senken den Spritverbrauch drastisch, in: *Handelsblatt* vom 25. August 2009.
- Pehnt, M.; Höpfner, U.; Merten, F. (2007): Elektromobilität und erneuerbare Energien, Arbeitspapier Nr. 5, Institut für Energie- und Umweltforschung/Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, November 2007, Heidelberg, Wuppertal.
- Pfannerstill, E. (2008): *Asien Kurier*, 2/2008.
- Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat (2009): World Population Prospects: The 2008 Revision.
- Santa Clara Valley Transportation Authority (2008a): Short Range Transit Plan.
- Santa Clara Valley Transportation Authority (2008b): Green Fact Sheet.
- Say, L. S. (2001): Commuting sustainability, *Our Planet*.
- Schäfer, K. H. (2005): Qualitätsziele und Indikatoren für eine nachhaltige Mobilität, Anwenderleitfaden, Umweltbundesamt Dessau.
- Schmoock, M. (2005): Hamburg setzt auf Zukunftstechnologie, in: *Hamburger Abendblatt* vom 20.12.2005.
- Schulze, S. (2009): Einige Beobachtungen zum Pendlerverhalten in Deutschland, *HWWI Policy Paper*, Nr. 1-19/2009, Hamburg.
- Shell Deutschland Oil GmbH (2009): Shell PKW-Szenarien bis 2030 - Fakten, Trends und Handlungsoptionen für nachhaltige Auto-Mobilität, Hamburg.
- Silicon Valley Leadership Group (2007): Clean & Green Energy Action Plan.
- Statistisches Bundesamt (2006): Bevölkerung Deutschlands bis 2050, 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung.
- Transport for London (2008): Central London Congestion Charging, Impacts monitoring, Sixth Annual Report.
- Umweltbundesamt (2002): Nachhaltigkeit in Deutschland - Die Zukunft dauerhaft umweltgerecht gestalten (Kurzfassung), IV Schritte zu einer nachhaltigen Mobilität.
- Wolf, R. (2003): Umweltpolitische Handlungsempfehlungen für die Finanzierung des ÖPNV, Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, *Texte*, Umweltbundesamt.
- World business council for sustainable Development (WBCSD) (2004): The Sustainable Mobility Project: Overview 2004.
- Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (2007): Geologische CO₂-Einspeicherung als klimapolitische Handlungsoption – Technologien, Konzepte, Perspektiven, *Wuppertal Spezial 35*, Wuppertal.

Webseiten:

- ADAC (2009): [http://www1.adac.de/Auto_Motorrad/Tanken/Ethanolbeimischung/Ethanolbeimischung.asp?ComponentID=265351&SourcePageID=10091] (20. September 2009)
- Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg (2009): [www.klima.hamburg.de/]
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009): [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verk_schadstoffemissionen.pdf] (20. September 2009)
- Choren (2009): [<http://www.choren.com/de/>] (10. August 2009)
- Ecomobility.org (2006): [http://ec.europa.eu/transport/urban/studies/doc/2007_urban_transport_europe.pdf]

- ECS Elektromobil Club der Schweiz (2009): [<http://www.ecs-five.ch/ecs/d/tipp.htm>]
- EU Mayors (2009): [<http://www.eumayors.eu>]
- Eurostat (2009a): [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/national_accounts/data/database]
- Eurostat (2009b): [http://nui.epp.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=road_eqs_carhab&lang=de]
- Hamburger Hochbahn AG (2009a): [http://www.hochbahn.de/wps/portal/de/home/hochbahn/presse/themendienste/presse_innovationenumwelt?WCM_PORTLET=PC_7_Q15C51930GON002FVCDEUT00Q4_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/de/home/hochbahn/presse/themendienste/presse_innovationenumwelt]
- Hamburger Hochbahn AG (2009b): [<http://www.hvv-futuretour.de/learnstation.php?station=HHH>] (20. August 2009)
- hySOLUTIONS (2009): [<http://www.hysolutions-hamburg.de/>] (7. August 2009)
- ICLEI (2009): [www.iclei.org]
- IMF (2006): World Economic Outlook Database, April 2009, [<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2009/01/weodata/download.aspx>]
- Institute of Molecular Biosciences der Goethe Universität Frankfurt am Main (2009): [<http://cgi.server.uni-frankfurt.de/fb15/boles/start.html>] (6. August 2009)
- Institute of Molecular Systems Biology der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (2009): [<http://www.imsb.ethz.ch/researchgroup/sauer>] (7. August 2009)
- Iogen (2009): [http://www.iogen.ca/company/enzymes_technology/index.html] (30. Juli 2009)
- Japan Statistics Bureau & Statistics Center (2009): Japan Statistical Yearbook 2009, [<http://www.stat.go.jp/data/nenkan/zuhyou/y2800000.xls>]
- Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) (2009): [http://www.kba.de/ckn_016/nn_269000/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/EmissionenKraftstoffe/2008_b_emi_eckdaten.html]
- Local Governments for Sustainability (2009): [<http://www.iclei.org>]
- Max-Planck-Institut (2006): Pack die Alge in den Tank, in Energie-Perspektiven, Ausgabe 02/2006, [http://www.ipp.mpg.de/ippcms/ep/ausgaben/ep200602/0206_algen.html] (7. August 2009)
- Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat (United Nations) (2007): World Population Prospects: The 2006 Revision and World Urbanization Prospects: The 2007 Revision, [<http://esa.un.org/unup>]
- Singapore Department of statistics (2001): [<http://www.singstat.gov.sg/>]
- Statistics Canada (2009): [www.statcan.gc.ca/statcan.gc.ca]
- Tokio Metropolitan Government (2009): [<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/tnenkan/2007/tno7y7e0510b.htm>]
- TÜV Rheinland (2009): [<http://www.tuv.com/de/hybridfahrzeuge.html>]
- Umweltbundesamt (2009): [http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/alternative-kraftstoffe/bio_wasser_elektro.htm] (26. Oktober 2009)
- VDA (2009): Verband der Automobilindustrie, Zahlen & Fakten – aktuelle Entwicklungen in Euro und Prozent, [<http://www.vda.de/de/zahlen/index.html>]
- Verenium (2009): [<http://www.diversa.com>] (8. August 2009)

Teil B

- Apfelstaedt, A.; Langhans, S.; Gollnick, V. (2009): Identifying carbon dioxide reducing aircraft technologies and estimating their impact on global CO₂ emissions, in Kürze erscheinend.
- Babikian, R.; Lukachko, S.; Waitz, I. (2002): The Historical Fuel Efficiency Characteristics of Regional Aircraft from Technological, Operational and Cost Perspectives, in: Journal of Air Transport Management, Vol. 8(6), S. 389–400.
- Barnes, D. L.; Erickson, T.L.; Hess, K. S.; Miller, A. R. (2007): System design of a large fuel cell hybrid locomotive, in: Journal of Power Sources, Vol. 173 (2), S. 935–942.
- BDEW; VDA; ZVEI (2009): Gemeinsame Position der Verbände Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Verband der Automobilindustrie e. V. und Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. zur Elektromobilität.
- Brumfiel, Geoff (2009): Lithium batteries charge ahead, in: Nature News, 11.3.2009
- Buchenau, M. W.; Gillmann, W. (2009): Daimler und Evonik bauen Batteriewerk, in: Handelsblatt vom 7.7.2009.
- Büsser, S.; Frischknecht, R.; Jungbluth, N.; Tuchschnid, M. (2008): Ökobilanz von Energieprodukten: Life Cycle Assessment of biomass-to-liquid fuels. Programm Biomasse No. 280006, ESU-services Ltd. im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Landwirtschaft, Bern, Schweiz.
- Deutsche Bank (2008): Electric Cars: Plugged In, Juni 2008.
- DLR (2008): News-Archiv Stuttgart, 5.12.2008.
- ener|gate (2009a) (con|energy Gruppe): Elektromobilität – ein Geschäftsfeld der Zukunft: auch für Energieversorger?
- ener|gate (2009b) (con|energy Gruppe): Elektromobilität – Städte und Kommunen als Partner der Energieversorger.

- European Hydrogen Association (2008): Hydrogen and Fuel Cells as Strong Partners of Renewable Energy Systems.
- ESG Aviation Services (2008): The Airline Monitor, Vol. 21(2), Augusta, Florida.
- Feller, A.; Stephan, M. (2009): Migrating from Oil- to Electricity-Powered Vehicles: Modeling Germany's Transition to the EV until 2040 in System Dynamics.
- Felming, S.; Colwell, C.; Morrison, F.; Calhoun, L. (2009): Aviation and Climate Change, Washington, D. C.
- FESG (2008): FESG Forecast Task Group Progress Report, 11.6.2008, Seattle.
- Gerbrand, C.; Byoungwoo, K. (2009): Re-engineered battery material could lead to rapid recharging of many devices, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.
- Haglmüller, M. (2009): Presstext Deutschland vom 29.5.2009.
- Hoelzgen, J. (2009): Lithium-Mangel bedroht die Auto-Revolution, in: Der Spiegel vom 18.9.2009.
- IFMO (2006): Innovation Roadmaps – Entwicklungspfade ausgewählter Innovationen aus »Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2025«.
- Kopp, G.; Beeh, E. (2009): Magnesium macht's möglich – Super Light Car – Leichtbau durch Multi-Material-Design mit integrierten Funktionen, in: DLR Nachrichten 121, S. 28–32.
- Kreutzer Consulting (2009): Elektromobilität – Chancen und Risiken für Energieversorger.
- McKinsey (2009): McKinsey-Studie »Wettbewerbsfaktor Energie«.
- Meridian International Research (2007): The Trouble with Lithium – Implications of Future PHEV Demand for Lithium Supply and Resources.
- Otterbach, B. (2009): Automobil Industrie, Vogel Business Media GmbH & Co.
- Pander, J. (2007): Hier rast die Zukunft, in: Der Spiegel vom 18.6.2007.
- Rehn, D. (2009): Asiens Autoindustrie mit neuem Antrieb, in: Handelsblatt vom 16.6.2009.
- Ress, J.; Kamp, M.; Seiwert, M. (2009): Formel E, in: Wirtschaftswoche Nr.38 vom 14.9.2009.
- RWE AG (2008): Nationale Strategiekonferenz Elektromobilität – Workshop Netzintegration.
- RWE AG (2009): Elektromobilität – Der mobile Kunde; Elektrofahrzeuge als neue Herausforderung für Netze.
- Pander, J. (2007): Hier rast die Zukunft, in: Der Spiegel vom 18.6.2007
- Schneider, D. (2009): Der Hybridantrieb wird salonfähig – die dritte Generation des Hybridfahrzeugs Toyota Prius soll im D-Segment nicht nur Sparfüchse ansprechen, in: Finanz und Wirtschaft, Nr. 64, S. 30.
- Spinnarke, S. (2009): E-Mobilität – Top-Thema bei Daimler und BMW, in: Produktion – Die Wirtschaftszeitung für die deutsche Industrie, Nr. 39, S. 8.
- Terpitz, K. (2008): Du sollst nicht an Forschung sparen, in: Handelsblatt vom 28.6.2008.
- Umweltbundesamt (2001): Weißbuch – Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellung für die Zukunft, Luxemburg.

Webseiten:

- 365 Energy Group (2009): Changing the way people move, [<http://365-energy.com/365>]
- A123Systems, Inc. (2009): [<http://www.a123systems.com/a123/company>]
- ADAC (2008): Entwicklung der Zahl der Tankstellen und Markenverteilung, [http://www1.adac.de/Auto_Motorrad/tanken/zahlen_fakten/entwicklung_der_zahl_der_tankstellen_und_markenverteilung/default.asp?TL=2]
- ADAC (2009): Strom Tanken, [http://www1.adac.de/Auto_Motorrad/Umwelt/Elektroauto/default.asp#atcm:8-227967]
- Augsburger Allgemeine (2009): Info die Tankstellensituation in Deutschland, [http://www.augsburger-allgemeine.de/Home/Nachrichten/Bayern/Artikel,-Benzinklau-Tankstellen-_arid,1761658_regid,2_puid,2_pageid,4289.html]
- Auto.de (2009): Die Zukunft beginnt jetzt: Der Wandel der Automobilindustrie, [<http://www.auto.de/magazin/showArticle/article/25440/Die-Zukunft-beginnt-jetzt-Der-Wandel-der-Automobilindustrie>]
- Autoblog (2009): Toyota Prius boomt in den USA, [<http://de.autoblog.com/category/verkaufszahlen/>]
- Automobil-Industrie Vogel (2008): Völlig elektrisiert, [<http://www.automobil-industrie.vogel.de/antrieb/articles/143915/>]
- BDEW (2009): Mehr als 15 Prozent Ökostrom in Deutschland, [http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_20090127_PM_Mehr_als_15_Prozent_Oekostrom_in_Deutschland?open&l=DE&ccm=250010010010]
- Better Place (2009): the solution, [<http://www.betterplace.com/solution/>]
- Blessing, U. C. (2009): Hybrid-Autos.info, [<http://www.hybrid-autos.info/hybrid-fahrzeuge/>]
- Bockhorst, M. (1999–2000): Energieinfo.de, [<http://www.energieinfo.de/eglossar/ottomotor.html>]
- Buchmann, Isidor (2007): Welches ist die beste Batterie? [<http://www.batteryuniversity.com/partone-3-german.htm>]
- Bundesregierung Deutschland (2009): Nationaler Entwicklungsplan der Elektromobilität der Bundesregierung, [http://www.bmvbs.de/Anlage/original_1091814/Nationaler-Entwicklungsplan-Elektromobilitaet.pdf]
- CET (2009): UC Berkeley Study Finds Separate Battery Ownership Accelerates Mass-Market Adoption of Electric Cars, [<http://cet.berkeley.edu/news/uc-berkeley-study-finds-separate-battery-ownership-accelerates-mass-market-adoption-of-electric-cars>]

In der Reihe

»Strategie 2030 – Vermögen und Leben in der nächsten Generation«

sind bislang folgende Studien erschienen:

1 Energierohstoffe

2 Ernährung und Wasser

3 Immobilien

4 Maritime Wirtschaft und Transportlogistik (Band A und B)

5 Klimawandel

6 Wissen

7 Sicherheitsindustrie

8 Staatsverschuldung

9 Wirtschaftsfaktor Fußball

Diese Studien stehen Ihnen auf der Homepage www.berenberg.de unter dem Punkt »Publikationen« als Download zur Verfügung.

