



*Oliver S. Kaiser,
Sarah Meyer, Jens Schippl*

ITA-Monitoring „Elektromobilität“

Pre-Print: 06.12.2011

Erschienen in: Decker, M.; Fleischer, T.; Schippl, J.; Weinberger, N. (Hrsg.):
Zukünftige Themen der Innovations- und Technikanalyse.
Methodik und ausgewählte Ergebnisse.
KIT Scientific Reports 7605.
Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2012, S. 19-83
und
Zukünftige Technologien Consulting (Hrsg.):
ITA-Kurzstudie Elektromobilität
(Autoren: Kaiser, O. S.; Meyer, S.; Schippl, J.)
Düsseldorf: VDI Technologiezentrum, November 2011, 98 S.

ITAS – Elektronische Pre-Prints

Allgemeine Hinweise

Wie mittlerweile viele wissenschaftliche Einrichtungen, bietet auch ITAS elektronische Pre-Prints an, die bereits zur Publikation akzeptierte wissenschaftliche Arbeiten von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern - in der Regel Buchbeiträge – darstellen.

Für die Autoren bietet dies den Vorteil einer früheren und besseren Sichtbarkeit ihrer Arbeiten; für die Herausgeber und Verlage die Möglichkeit einer zusätzlichen, werbewirksamen Bekanntmachung des jeweiligen Buchprojekts. Auf die in Aussicht stehende Veröffentlichung wird hingewiesen. Nach Erscheinen der Publikation werden der geänderte Status vermerkt und die bibliographischen Angaben vervollständigt.

Allgemeine Anregungen und Kommentare zu den ITAS Pre-Prints richten Sie bitte an (info@itas.kit.edu).

Empfohlene Zitierweise des vorliegenden Pre-Prints:

Kaiser, O. S.; Meyer, S.; Schippl, J.:
ITA-Monitoring „Elektromobilität“ (Kurzstudie).
Karlsruhe: ITAS Pre-Print: 06.12.2011;
<http://www.itas.fzk.de/deu/lit/epp/2011/kaua11-pre01.pdf>

ITA-Monitoring Elektromobilität

Kurzstudie

Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
in Kooperation mit Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH (VDI-ZTC)

Januar | 11

Projektleiter: Prof. Dr. Michael Decker

Autoren: Oliver S. Kaiser (VDI TZ ZTC), Sarah Meyer (ITAS, KIT), Jens Schippl (ITAS, KIT)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
1 Aufbau der Studie.....	7
2 Einführung in das Thema	9
3 Themen für die ITA-Forschung	11
3.1 Technik und Infrastruktur.....	11
3.1.1 Verbesserung der Batterien in der Vergangenheit	12
3.1.2 Vergleich mit Flüssigtreibstoffen.....	12
3.1.3 Neue Konzepte für reine Elektro-Pkw	13
3.1.4 Das Aufladen der Pkw-Traktionsbatterie	14
3.1.5 Alternative Batteriekonzepte	15
3.1.6 Zukünftige Weiterentwicklung der Batterien.....	16
3.1.7 Hybridantriebe.....	17
3.1.8 Plug-In-Hybridfahrzeuge.....	17
3.1.9 Elektrofahrzeuge mit Range Extender.....	18
3.1.10 Elektromobilität und intelligente Stromnetze.....	19
3.2 Sozio-ökonomische und ökologische Aspekte	20
3.2.1 Erwartete Zielgruppen und Mobilitätsmuster.....	21
3.2.2 Geschäftsmodelle/ Nutzungskonzepte.....	26
3.2.3 Sicherheit und Handhabung	31
3.2.4 Politische Rahmenbedingungen	33
3.2.5 Umweltauswirkungen.....	35
3.2.6 Rohstoffe und Recycling	37
4 Offene ITA-Fragestellungen	39
4.1 Technik und Infrastruktur.....	39
4.2 Einfluss auf Wirtschaftsstruktur und Ausbildung	40
4.3 Entwicklung von Präferenzen und Mobilitätsmustern.....	40
4.4 Fördermöglichkeiten und politische Rahmenbedingungen	41
4.5 Ökologische Fragen, „Sauberkeit“ und Elektromobilität.....	42
4.6 Siedlungsstruktur.....	42
5 Vorschläge zur methodischen Umsetzung	43
5.1 Meta-Szenarien zur Integration verschiedener Wissensstände.....	43

5.2	Empirische Untersuchungen zu Nutzereinstellungen und Mobilitätsmustern.....	43
5.3	Unterstützung innovativer Geschäftsmodelle	44
5.4	Stärkung der Intermodalität.....	45
5.5	Entwicklung von Roadmaps und Tests in Modellregionen	45
5.6	Stärkere Integration von BEV-Technik in die Ausbildung von Fachkräften	45
6	Weiterführende Literatur	47
7	Literaturverzeichnis	49
8	Anhang.....	57

Zusammenfassung

Die Studie berücksichtigt, gemäß der Vorgaben des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität der Bundesregierung, nicht nur Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV), sondern auch Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung („Range Extender“) und Plug-in-Hybridfahrzeuge. Bei Autos mit „Range Extender“ kann die Batterie bei Bedarf durch einen kleinen Verbrennungsmotor während der Fahrt nachgeladen werden. Plug-in-Hybridfahrzeuge werden je nach Fahrsituation von einem Verbrennungs- oder Elektromotor angetrieben. Die Batterie wird während der Fahrt aus der Bremsenergie aufgeladen, zusätzlich beim abgestellten Fahrzeug aus einer 230-Volt-Steckdose („plug“).

Die Batterieelektrischen Fahrzeuge (BEV) stehen im Fokus des allgemeinen Interesses. Sie sollen die Ölabhängigkeit sowie die Emission von Schadstoffen reduzieren. Mit den Modellen, die zusätzlich einen Verbrennungsmotor an Bord haben, können elementare Herausforderungen bewältigt werden. Verbrennungsmotoren setzen nicht einmal ein Drittel der im Kraftstoff enthaltenen Energie in Bewegung um, ein System aus Elektromotoren und Batterie nutzt dagegen über 90 Prozent der gespeicherten Energie zum Antrieb. Obwohl Verbrennungsmotoren vergleichsweise ineffizient arbeiten, profitieren sie aber vom hohen Energieinhalt des Benzins bzw. Dieseldieselkraftstoffs. Hier liegt also der entscheidende Nachteil von BEV: Selbst moderne Lithium-Ionen-Batterien haben im Vergleich eine sehr kleine Energiedichte, was die geringe Reichweite von rund 100 Kilometern rein elektrisch angetriebener Autos erklärt. Zudem dauert das Aufladen mehrere Stunden, also ein Vielfaches des gewöhnlichen Nachtankens von Flüssigtreibstoff.

Zukünftige Batterieentwicklungen werden die Situation verbessern. Jedoch sind bei der Batterie, an die die Automobilindustrie hohe Sicherheitsanforderungen stellt, keine sprunghaften Änderungen zu erwarten. Das erklärt die Entwicklung von Fahrzeugen mit Range-Extendern und Hybridantrieben, die das Beste „aus beiden Welten“ verbinden, mit dem Nachteil höherer Komplexität und entsprechenden Kosten.

Diese technischen Einschränkungen und Entwicklungen stehen in Wechselwirkung mit zahlreichen anderen Faktoren, die teilweise Bedingung und teilweise Folge einer stärkeren Marktdurchdringung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen darstellen. Die Forschung und Entwicklung von Technologien ist eingebettet in die Gesellschaft und abhängig von deren Voraussetzungen, Leitbildern, Paradigmen oder Nachfragestrukturen, so dass eine Ko-Evolution technischer und sozio-ökonomischer Faktoren stattfindet.

Die Elektromobilität stellt nicht nur Hersteller, Zulieferer und Infrastrukturanbieter vor Herausforderungen, letztlich werden sich alle Mitglieder der Gesellschaft mit Fragen bezüglich der Ausgestaltung der eigenen Mobilität, der Sicherheit und der Bedienung der neuen Technologie, veränderter Infrastruktur etc. auseinandersetzen müssen.

Wie sich BEV am Markt durchsetzen werden, hängt also neben dem technischen Fortschritt von unterschiedlichen sozio-ökonomischen Faktoren ab. Dabei spielen Erwartungen und Einstellungen der Verbraucher eine wichtige Rolle. Untersuchungen zeigen, dass viele Menschen sich grundsätzlich den Kauf eines Elektrofahrzeuges vorstellen können. Erwartungsgemäß spielen dabei der Preis sowie Komfortansprüche eine große Rolle. Neben den Anschaffungskosten scheint auch der hohe Wertverlust der Batterie die Verbraucher abzuschrecken. Dennoch würden, vor der Wahl unterschiedlicher Geschäftsmodelle gestellt, viele der Befragten den Besitz eines Elektrofahrzeugs anderen Formen, wie z.B. Leasing, vorziehen. Bei einer Kaufentscheidung wird die Verfügbarkeit einer geeigneten Infrastruktur ebenfalls als wichtig angesehen. Gleichzeitig gehen viele Autofahrer davon aus, dass die Batterie zu Hause geladen werden kann. Auch der Umweltschutz kann die Kaufentscheidung beeinflussen.

Die geringen Reichweiten um 100 Kilometer und die Ladezeiten über Stunden werden als großer Nachteil von BEV wahrgenommen, obwohl der durchschnittliche Autofahrer in Deutschland an achtzig Prozent der

Tage im Jahr, weniger als 40 km zurücklegt. Studien zeigen zudem, dass zumindest Pilotnutzer sich relativ schnell an die neuen Bedingungen gewöhnen. Das Laden wird als kontinuierlicher Prozess in die Alltagsroutinen integriert, also in den Zeiten, wenn das Fahrzeug ruht und eine Ladestation vorhanden ist.

Mobilitätsmuster sind nicht starr, sondern verändern sich im Lauf der Zeit, was für die Akzeptanz, Ausgestaltung und Marktdurchdringung der Elektromobilität relevant sein wird. Die Nutzung von Verkehrsmitteln ist von vielen Faktoren abhängig. Individualisierung und die Alterung der Gesellschaft sind wichtige Entwicklungen. Vielfach fungiert das Auto auch als Statussymbol. Es wird davon ausgegangen, dass die Nachfrage nach individueller Mobilität im Alter ansteigt, sich gleichzeitig jedoch die finanzielle Situation der Senioren eher verschlechtern wird. Das könnte Alternativen zum persönlichen Besitz von Fahrzeugen fördern. Ergebnisse von Befragungen bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen deuten an, dass sich bei einer wachsenden Gruppe „junger Städter“ eine pragmatische Einstellung zu Mobilität und Automobil entwickelt. In urbanen Räumen scheint das Auto als Statussymbol bei den Jugendlichen an Bedeutung zu verlieren, an dessen Stelle treten Smartphones und Internetpräsenz. Die jungen Großstadtbewohner wechseln am häufigsten zwischen verschiedenen Mobilitätsangeboten und, so wird vermutet, scheinen am ehesten bereit zu sein, sich mit neuen Mobilitätskonzepten auseinander zu setzen.

Gerade über neue Geschäftsmodelle könnten Elektrofahrzeuge in Zukunft ein wichtiger Baustein für eine bessere Verknüpfung von öffentlichen Verkehrsmitteln und Individualverkehr sein („Multimodaler Verkehr“). Die Überbrückung der „Letzten Meile“ zwischen Start- bzw. Zielpunkt und den öffentlichen Verkehrsmitteln ist für den Nutzer bequem und vermeidet den hohen Schadstoffausstoß von Autos mit Verbrennungsmotor auf Kurzstrecken.

Vor diesem Hintergrund lassen sich in den ausgewerteten Studien zur zukünftigen Entwicklung der Elektromobilität zwei grundsätzliche Erwartungshaltungen ausmachen:

- Eine Erwartungshaltung geht davon aus, dass elektrische Fahrzeuge die bisherigen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor ersetzen müssen, ohne dass sich die heutigen Mobilitätsmuster wesentlich verändern. Das bedeutet, dass die elektrisch betriebenen Fahrzeuge in punkto Kosten, Reichweite und Ladezeit in Bereiche kommen müssen, die mit den bisherigen Fahrzeugen vergleichbar sind. Individuelle Mobilität wäre demnach auch weiterhin durch individuellen Autobesitz geprägt.
- Eine andere richtet sich daran aus, dass sich Mobilitätsmuster und Präferenzen immer im Wechselspiel mit den technologischen Entwicklungen verändert haben; demnach wäre davon auszugehen, dass sich auch in Zukunft die Mobilitätsmuster zumindest bis zu einem gewissen Grad den neuen technischen Settings anpassen.

Für die letztgenannte Erwartungshaltung, die teilweise Anpassung der Mobilitätsmuster an die technischen Möglichkeiten, spielen Geschäftsmodelle eine wichtige Rolle, die die enge Bindung zwischen Autobesitz und individueller Mobilität auflösen könnten, wie Car-Sharing und Leasing. Diese Geschäftsmodelle erlauben die flexible, an den Bedarf angepasste Fahrzeugwahl und die damit verbundene Auswahl des erforderlichen Motorisierungsgrades, wie Verbrennungsmotor, Hybridantrieb oder rein elektrischer Antrieb. Zahlreiche weitere Geschäftsmodelle lassen sich beobachten. Beispielsweise verfolgt „Better Place“ den Ansatz, dass das Fahrzeug zwar dem Kunden gehört, die Batterie aber im Besitz des Unternehmens bleibt und lediglich verleast wird. Einrichtungen zum schnellen Austausch der Batterie als Alternative zum Aufladen sind ebenfalls Teil des Konzepts.

Unabhängig vom Geschäftsmodell setzt eine steigende Marktdurchdringung voraus, dass die Nutzer den Umgang mit batterieelektrischen Fahrzeugen erlernen. Typische Themen sind dabei die neuen Fahreigenschaften und die Geräuscharmheit. Es wird diskutiert, ob BEV künstliche Geräusche erzeugen sollen, damit sie von Fußgängern gehört werden. So gibt es ein Dilemma zwischen der gesellschaftlich gewünschten

Lärmreduzierung, die das Elektroauto potentiell bietet, und den Risiken, die mit dieser Lautlosigkeit einhergehen können.

Die offenen Fragen dieser ITA-Kurzstudie resultieren zum einen aus der Vorausschau zukünftiger technischer Entwicklungen, wie Batterien oder Ladezeit, und zum anderen aus den Ausgestaltungsmöglichkeiten von Konzepten, die den Markt erreichen können, wie z.B. verschiedene Hybridsysteme, Ladeinfrastruktur und Abrechnungssysteme. Weitere Fragen betreffen die Geschäftsmodelle sowie das Nutzerverhalten: etwa Mobilitätsmuster und deren Veränderung und die ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen, sowie die Integration von Elektrofahrzeugen in ein „intelligentes Stromnetz“. Bei der Wertschöpfungskette stellt sich besonders die Frage nach der zentralen Rolle der Automobilhersteller und deren Verschiebung in Richtung Zulieferer bzw. Veränderung als neuartige Mobilitätsanbieter. Gleichzeitig wird deutlich, dass es hier vielfach um Fragen geht, die methodisch schwer zu fassen sind. Beispielsweise können keine langjährigen Nutzer zu ihren Erfahrungen und Einstellungen im Bereich Elektromobilität befragt werden, weil es noch keine langjährigen Nutzer gibt. In der ITA-Kurzstudie werden eine Reihe von Vorschlägen wie eine methodische Herangehensweise an die identifizierten Forschungsfragen aussehen könnte, skizziert.

- Der Innovationsprozess von BEV ist nur in seinen Wechselwirkungen mit zahlreichen anderen Faktoren zu verstehen und zu gestalten. Die Potentiale und Grenzen vieler Einzelfaktoren werden von verschiedenen Akteuren unterschiedlich eingeschätzt. Da die Akteure, wie z.B. Wissenschaftler, Stakeholder, Behörden und Bürger, in diesem breit angelegten Feld auf verschiedene Wissensbestände aus unterschiedlichen Disziplinen Bezug nehmen, die teilweise nur wenig miteinander verknüpft sind, empfiehlt sich methodisch, zunächst ein Überwinden dieser Heterogenität anzustreben. Geeignet erscheint dafür die Entwicklung von Meta-Szenarien, um die Wissensbestände der vielen verschiedenen beteiligten Akteure zu integrieren und hierauf aufbauend Widersprüche in Argumentationslinien aufzudecken sowie Wissenslücken zu identifizieren.
- Die Entwicklungen von Nutzerpräferenzen und Mobilitätsmustern spielen eine entscheidende Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit der Elektromobilität. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, die empirische Basis in Bezug auf Nutzereinstellungen, Präferenzen und Mobilitätsmuster weiter zu entwickeln. Hierzu sind großflächige Versuche in Modellgebieten mit unterschiedlicher Nutzungsstruktur anzustreben, mit einer kontinuierlichen, standardisierten Nutzerbefragung über den zeitlichen Verlauf hinweg. Auf dieser Basis sind bestimmte Fragestellungen und die Antworten von ausgewählten gesellschaftlichen Gruppen näher zu betrachten, wie beispielsweise die der jungen Erwachsenen.
- In einigen Großstädten lassen sich Pilotprojekte mit neuen Geschäftsmodellen beobachten, die zunächst auf das kurzzeitige Mieten von Autos und Fahrrädern abzielen, aber in vielen Studien auch als Möglichkeit diskutiert werden, die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen zu fördern. Da innovative Geschäftsmodelle in der Lage sind, einige der genannten Schwächen der Elektromobilität, wie etwa Reichweite, Ladedauer und Wertverlust der Batterie, abzumildern, sollten sie verstärkt erprobt und miteinander verglichen werden. Eine begleitende Forschung der vielfältigen, derzeit erprobten Geschäftsmodelle erscheint sinnvoll, um ihre potentiellen Auswirkungen auf Mobilitätsmuster zu erfassen, und Differenzierungen für bestimmte Kundensegmente entwickeln zu können.
- Der elektromobile Individualverkehr steht einerseits in Konkurrenz mit den öffentlichen Verkehrsmitteln. Andererseits können Batterieelektrische Fahrzeuge auch als ein Baustein in multimodalen Mobilitätsmustern gesehen werden. Projekte in Modellregionen könnten deshalb nicht nur die Elektrifizierung von Fahrzeugen, z.B. Hybridbussen, im Blick haben; es ließen sich auch die Kombinationsmöglichkeiten von individueller Elektromobilität und öffentlichen Verkehrsmitteln verbessern. Hierzu wäre eine intensive Verständigung der Akteure anzustreben, um aktiv intermodale Konzepte entwickeln und anbieten zu können.

- Bisher werden in Deutschland bzw. in Europa verschiedene nicht-Öl-basierte Antriebstechnologien gefördert. Es scheint sinnvoll, die verschiedenen nicht-Öl-basierten Antriebstechnologien wie Biomasse, Elektromobilität, Wasserstoff- und Brennstoffzellen in eine Gesamtstrategie einzuordnen. Hierzu ist die Entwicklung von Roadmaps geeignet. Diese Roadmaps sollten eine Analyse und Bewertung der verschiedenen Technologien vornehmen, um darauf aufbauend die Verteilung von Fördermitteln zu strukturieren, und eine transparente Förderstrategie entwickeln zu können.
- In Autowerkstätten stehen bisher kaum ausgebildete Fachkräfte für die neuen Antriebe zur Verfügung. Neben dem Bereich der Weiterbildung ist auch im Bereich der Ausbildung für Techniker und Ingenieure ein Wandel zu erwarten, um auf diese Entwicklung eingehen zu können. Hier sollen Konzepte entwickelt werden, wie die neuen Ausbildungsinhalte zu vermitteln sind. Vor diesem Hintergrund bietet es sich an, einen besseren Austausch zwischen Forschern, Entwicklern und Mechatronikern zu ermöglichen.

1 Aufbau der Studie

Vor dem Hintergrund der Zielstellung ist der Aufbau der Studie wie folgt angelegt:

Nach einem kurzen Rückblick auf die Entwicklung der Elektromobilität (Kapitel 2), widmet sich Kapitel 3 der mittlerweile umfangreichen wissenschaftlichen Literatur. Besonders im Jahr 2010 wurde eine Vielzahl von Studien zu dem Thema publiziert, die im Hinblick auf ITA-relevante Fragestellungen ausgewertet werden. Im ersten Teil des Kapitels wird dabei auf die technischen Komponenten der Elektromobilität und die entsprechende Infrastruktur eingegangen. Der zweite Teil des Kapitels fokussiert auf die sozio-ökonomische Einbettung und die ökologischen Implikationen. Dazu gehört eine Darstellung des veröffentlichten Wissens zu Nutzereinstellungen und Mobilitätsmustern, ebenso wie eine Diskussion von neuen Geschäftsmodellen sowie von politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen.

Ausgehend von den Darstellungen in Kapitel 3 benennt Kapitel 4 offene ITA-Fragestellungen, die sich aus dem recherchierten Stand des Wissens ergeben und sich als Untersuchungsgegenstand fortschreibender TA-Studien anbieten. Dabei folgt es weitgehend der Gliederung des vorhergehenden Kapitels.

Konkrete Vorschläge, wie die in Kapitel 4 identifizierten „Wissenslücken“, beispielsweise im Rahmen einer Themenfeldausschreibung geschlossen werden könnten und welche Methoden hierfür geeignet wären, gibt Kapitel 5.

Das folgende Kapitel (Kapitel 6) enthält weiterführende Literatur zu Unterthemen in annotierter Form. Die Studie schließt mit einer tabellarischen Darstellung zu deutschen und einigen ausgewählten ausländischen Automobilherstellern, und gibt einen Überblick über deren aktuelle und geplante Modelle im Bereich der elektrischen Antriebe (inklusive Brennstoffzellen), sowie Forschungsprojekte, Kooperationen, formulierte Ziele und eine Zusammenfassung der Herstellerstrategie (Kapitel 8).

In dieser Studie wurde durchgängig das Maskulinum in seiner generischen Funktion verwendet. Dieses Dokument spricht somit sowohl das weibliche als auch das männliche Geschlecht an. Auf ein Gendering wurde zugunsten der Lesbarkeit verzichtet.

2 Einführung in das Thema

Seit dem Beginn der Massenfertigung von Automobilen vor fast 100 Jahren werden vorherrschend Verbrennungsmotoren (Otto- und Dieselmotoren) eingesetzt; diese haben seitdem die Automobiltechnik maßgeblich beeinflusst. Elektrische Pkw-Antriebe, wie sie besonders in der Frühzeit des manufakturartigen Automobilbaus eine Rolle spielten, haben sich nicht durchgesetzt. Ein wesentlicher Grund dafür ist die geringe Kapazität der damals verfügbaren Batterien, die sehr schwer waren und dennoch nur geringe Reichweiten des Fahrzeugs ermöglichten. Hinzu kam die lange Ladedauer der Batterien. Die umfassende Kommerzialisierung des Erdöls tat ihr übriges dazu.

Obwohl die Geschichte des Elektromobils also schon sehr alt ist – die ersten Elektrofahrzeuge mit wieder aufladbaren Batterien wurden in den 1880er Jahren gebaut – hat es sich bisher nicht gegen den Verbrennungsmotor durchsetzen können. Die Ökonomen Robin Cowan und Staffan Hulten beschreiben diese Tatsache als „technological lock-in“ und versuchen den Gründen hierfür auf die Spur zu kommen (Cowan, Hulten 1996). Die Geschichte des Automobils erscheint als ein andauernder Wettstreit zwischen den drei Technologien des Dampfwagens, des Benzin- und des Elektroautos, wobei die Bedeutung der Dampfwagenindustrie relativ früh, ab etwa 1920, zurückging. In mehreren Phasen hat sich daraufhin die weitere Entwicklung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren (ICE, internal combustion engine) und Elektrofahrzeugen (EV, electric vehicle) fortgesetzt. Nach einer Phase der Koexistenz beider Technologien ohne eine klare Dominanz bis 1905, setzte sich die Verbrennungstechnologie ab 1920 klar durch und festigte ihre dominante Position bis etwa 1973. Erst danach begann man die Verbrennungstechnologie aufgrund zunehmend wahrgenommener unerwünschter Nebeneffekte wie Unfällen, verstopfter Innenstädte, Luftverschmutzung und nicht zuletzt der Ölkrise, in Frage zu stellen.

Damit eine Technologie von einer anderen abgelöst wird und damit dem „technological lock-in“ entkommt, sehen Cowan und Hulten mehrere potentielle Faktoren als notwendig an: es kann eine Krise der existierenden Technologie geben, gesetzliche Regelungen greifen ein, technologische Durchbrüche werden erzielt, ein Geschmackswandel tritt ein, es entstehen Nischenmärkte oder neue wissenschaftliche Erkenntnisse tauchen auf. Einige dieser Faktoren wirken sich fördernd auf die Verbreitung der Elektromobilität aus, wie gesetzliche Regelungen (so geschehen in Kalifornien) oder das steigende Umweltbewusstsein; andere Faktoren stehen ihr entgegen. Es besteht keine wirkliche Krise der existierenden Verbrennungstechnologie an sich, es wird weiterhin viel Geld in die Entwicklung und Verbesserung derselben investiert und die Entwicklung in der Batterietechnologie hinkt den Erwartungen hinterher. Nischenmärkte, wie die der kleinen elektrischen Golfautos, sind technologisch wenig anspruchsvoll und zu klein, um zur Fortentwicklung von schnellen leistungsstarken Autos wirklich beizutragen.

Seit einigen Jahren wächst das Interesse an so genannten alternativen Treibstoffen und Antriebstechnologien wieder sehr stark an. Dafür sind verschiedene Treiber verantwortlich, insbesondere der verstärkte Klimaschutz und der damit verbundene Druck, den CO₂-Ausstoß zu reduzieren, die Abhängigkeit vom endlichen Rohstoff Erdöl, die Luftverschmutzung in Städten der Dritten Welt und das Streben der Industrie nach Wettbewerbsvorteilen. Dazu kommen als technische Treiber vor allem die Weiterentwicklung im Bereich Batterietechnologie und Leichtbau. Die Bedeutung dieser Faktoren wird von Experten unterschiedlich gewichtet, sicher tragen aber alle zu den beobachtbaren „Hypes“ in den Bereichen Biokraftstoffe, Wasserstoff und Brennstoffzelle und jetzt Elektromobilität bei. Einer Art Wasserstoffboom Anfang der Jahrtausendwende folgend, wird besonders die Elektromobilität seit einigen Jahren mit großen Hoffnungen auf eine CO₂-freie und umweltschonende Mobilität verbunden, obwohl sich alle Akteure einig sind, dass bis zu einer signifikanten Marktdurchdringung noch erhebliche Hürden zu überwinden sind, wie die vorliegende Studie zeigen wird. Mittlerweile liegt eine große Zahl an Veröffentlichungen zum Thema Elektromobilität vor, fast wöchentlich kommen neue Studien und Berichte dazu. So ist es Ziel dieser Kurzstudie,

den Stand des Wissens, die zentralen Fragen und den wesentlichen Forschungsbedarf in diesem hochdynamischen Feld komprimiert aufzuzeigen und dabei Fragestellungen heraus zu arbeiten, die für die Innovations- und Technikanalyse (ITA) von besonderem Interesse sind.

3 Themen für die ITA-Forschung

3.1 Technik und Infrastruktur

Wie in der Einleitung skizziert, werden von der Automobilindustrie weltweit „alternative Antriebskonzepte“ seit längerem verfolgt und entwickelt. Dazu gehören, zum einen der sog. batterieelektrische Antrieb, und zum anderen Brennstoffzellenfahrzeuge. Beide benutzen zum Antrieb Elektromotoren anstelle von Verbrennungsmotoren; sie unterscheiden sich aber in der Bereitstellung der dafür nötigen elektrischen Energie: Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV, Battery Electric Vehicle) beziehen diese aus einer wiederaufladbaren, elektrochemischen Batterie (der umgangssprachliche Begriff „Akku“ wird hierbei nicht verwendet). Brennstoffzellenfahrzeuge hingegen wandeln Wasserstoff oder Methanol in einer sog. Brennstoffzelle in elektrischen Strom um. Dieser wird seinerseits in einer Batterie zwischengespeichert, da die Brennstoffzelle eine eher konstante Leistung bereitstellt, die nicht für alle Geschwindigkeitsprofile ausreicht.

Im Nationalen Entwicklungsplan (NEP) Elektromobilität der Bundesregierung¹ finden folgende Fahrzeugtypen Berücksichtigung:

- Elektrofahrzeuge (BEV, Battery Electric Vehicle),
- Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung (REEV, Range Extended Electric Vehicle),
- Plug-In-Hybridfahrzeug (PHEV, Plug-In Hybrid Electric Vehicle).

Fahrzeuge mit reinem Brennstoffzellenantrieb werden also ausdrücklich nicht berücksichtigt, sondern lediglich Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung durch eine Brennstoffzelle an Bord. Damit fallen die ausschließlich mit Wasserstoff angetriebenen Fahrzeuge nicht unter die Definition „Elektromobilität“ im Sinne des Nationalen Entwicklungsplans, auch wenn sich einzelne Akteure dafür einsetzen.² Hierfür ist jedoch das bereits gestartete Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) maßgeblich.

Grundsätzlich ist Elektromobilität auf den Straßenverkehr ausgerichtet, und nicht auf Schienen-, Wasser- und Luftverkehrsmittel. Einbezogen werden

- Personenkraftwagen (Pkw),
- leichte Nutzfahrzeuge,
- Zweiräder (Elektroroller, Elektrofahrräder) und
- Leichtfahrzeuge.
- Stadtbusse und andere Fahrzeuge kann die Strategie zur Elektromobilität ebenfalls umfassen.

Elektromobilität ist also nicht nur mit, den häufig im Fokus des Interesses stehenden batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) umzusetzen, sondern auch mit weiteren Fahrzeugkonzepten. Bei den Pkw sind das Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung („Range Extender“), bei denen ein kleiner Verbrennungsmotor an Bord die Batterie bei Bedarf nachlädt. Plug-in-Hybridfahrzeuge sind eine Weiterentwicklung der bereits am Markt befindlichen Hybridfahrzeuge mit einer Kombination von Verbrennungs- und Elektromotor, erlauben aber zusätzlich, das Nachladen der Bordbatterie aus der Steckdose³. Auf diese Konzepte wird später im Kapitel noch einmal ausführlich eingegangen.

¹ Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, August 2009

² Befürworter der Wasserstofftechnik sehen sich auf der Überholspur, VDI Nachrichten, 21.05.2010

³ engl.: to plug in, etwas anschließen

3.1.1 Verbesserung der Batterien in der Vergangenheit

Die wesentliche technische Weiterentwicklung der letzten Jahre betrifft bei batterieelektrischen Fahrzeugen die Batterie als Energiespeicher. Waren vor zwanzig Jahren noch Blei-Akkus, wie sie auch heute noch als Starterbatterie und für die Bordnetzversorgung Standard sind, für die elektrische Traktion zuständig, so sind nach Nickel-Metallhydrid- und Natrium-Nickelchlorid-Batterien inzwischen Lithium-Ionen-Batterien Stand der Technik.

Bei der Bewertung dieser Batteriesysteme ist auf eine sprachliche Besonderheit zu achten: umgangssprachlich wird von der „Leistungsfähigkeit“ einer Batterie gesprochen. Im physikalischen Sinne erinnert dieser Begriff an die „Leistungsdichte“, also wie viel Energie pro Zeiteinheit abgegeben (oder aufgenommen) werden kann, bezogen auf ein Kilogramm Masse der Zelle. Für das Gesamtsystem Batterie kommen u.a. noch das Gewicht des Gehäuses („Packaging“) sowie der Sensorik und Kühlung hinzu.

Entscheidender Parameter für die Reichweite und somit für die „Leistungsfähigkeit“ von Elektrofahrzeugen ist jedoch die Energiedichte, also die entnehmbare elektrische Energiemenge pro Kilogramm Zelle. Um eine unscharfe sprachliche Bewertung zu vermeiden, sollte nur mit den Begriffen Energiedichte und Leistungsdichte gearbeitet werden.

Aus den technisch verfügbaren Energiedichten der Batterien erklärt sich das in den letzten Jahren erneut gestiegene Interesse an Elektrofahrzeugen. Mit der kommerziellen Einführung von Lithium-Ionen-Batterien stieg die Energiedichte dramatisch: sind mit Bleibatterien nur rund 35 Wh/kg (Wattstunden pro Kilogramm) verfügbar⁴, ermöglichen Lithium-Ionen-Zellen nun 110 Wh/kg, je nach System sogar 200 Wh/kg⁵. Dieser Faktor drei bis fünf in der Energiedichte hat entscheidend dazu beigetragen, dass das in einem Pkw mitgeführte Batteriegewicht nur noch um 200 kg liegt. So wiegt eine Batterie mit 16 kWh Kapazität in den ersten Serienfahrzeugen Mitsubishi i-MiEV und Opel Ampera nur noch 160 kg⁶ bzw. 200 kg⁷ und damit nur rund ein Sechstel des für Kleinwagen üblichen Leergewichts.

Für den Einsatz in der Automobiltechnik wurden auch Natrium-Nickelchlorid-Hochtemperatur-batterien (unter der Bezeichnung „ZEBRA-Batterie“) mit etwa der dreifachen Energiedichte von Bleibatterien in Betracht gezogen. Diese Batterien sind für Privatkunden jedoch schwierig handhabbar, da sie nur bei Betriebstemperaturen um 300 °C funktionieren⁸ und deshalb bei über mehrere Tage abgestellten Fahrzeugen zum Nachheizen ständig an eine Stromquelle angeschlossen werden müssen. Dadurch wird beispielsweise das Parken auf öffentlichen Parkplätzen über die Dauer eines Wochenendes hinaus unmöglich.

3.1.2 Vergleich mit Flüssigtreibstoffen

Die Konzentration des technisch-wissenschaftlichen, aber auch öffentlichen Interesses an der Steigerung der Energiedichte von Traktionsbatterien ist nachvollziehbar, wenn man die Energiedichte von Flüssigtreibstoffen wie Dieselmotorkraftstoff und Motorenbenzin als Maßstab heranzieht: Diese beiden erreichen eine Energiedichte von etwa 12 kWh/kg, also weit mehr, als die besten kommerziellen Batterien mit 0,2 kWh/kg. Berücksichtigt werden muss allerdings, dass im Verbrennungsmotor nur etwa 36 % (Ottomotor) bzw. 43 % (Dieselmotor) dieser Energie für den Vortrieb umgesetzt wird und der Rest u.a. als Abwärme

⁴ Jürgen Garcke, „Elektrochemische Energiespeicher: Stand, Technik, Probleme, Perspektiven“. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 10/2006, S. 61-66

⁵ Denis Dilba, „Die Spannung steigt“, in: Technology Review (dt.), Mai 2008

⁶ <http://www.mitsubishi-motors.ch/site.asp?sid=0,896450218.06.20100,929867&dex=1&bkey=0&nid=5633&lid=0>, Aufruf am 20.09.2010

⁷ <http://ampera.opel.info/de/home/neue-batterie-technologie.html>, Aufruf am 20.09.2010

⁸ Daimler-Pressemappe: „Alternative Antriebe bei der Daimler AG für die Mobilität von morgen“, 15.11.2007, <http://media.daimler.com/dcmedia/0-921-614820-49-988121-1-0-0-988384-0-0-11702-614318-0-1-0-0-0-0.html>

verlorengeht bzw. im besten Fall der Beheizung der Fahrgastzelle dient.⁹ Trotz dieser relativ uneffizienten Ausnutzung der in Flüssigtreibstoffen enthaltenen Energiemenge können also einem Kilogramm Benzin für den Antrieb rund 4000 Wh entnommen werden, was im besten Fall einem Kilogramm Batterie mit 200 Wh entgegensteht – nur ein Zwanzigstel der Energiemenge des Flüssigtreibstoffs.

Anders formuliert bedeutet dies: während ein Pkw mit 50 kg (ca. 66 Liter) Benzin eine Fahrstrecke von 880 km zurückgelegt kann (bei einem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch im Pkw-Bestand von 7,5 l/100 km¹⁰), ist in 50 kg Batterie nur Energie für eine Reichweite von 33 km enthalten (bei einer typischen Energiedichte des Batteriesystems von 100 Wh/kg, wie etwa im Mitsubishi i-MiEV, und einem Verbrauch von 15 kWh/100 km für einen Kleinwagen¹¹). In dieser Übersichtsrechnung sind verschiedene Rahmenbedingungen zwar nicht berücksichtigt, etwa die zusätzlichen Masse eines Tankbehälters, oder dass Elektrofahrzeuge konstruktionsbedingt ein geringeres Leergewicht (ohne Energiespeicher) haben als solche mit Verbrennungsmotoren. Zudem sollten Batterien zur Verlängerung der Lebensdauer nicht vollständig entladen werden; sie werden außerdem von weiteren Verbrauchern wie Beleuchtung und Heizung in Anspruch genommen. Dennoch zeigt der Faktor 26 im Vergleich von 880 km zu 33 km Reichweite bei vergleichbarem Gewicht des „Energiespeichers“ die Bedeutung der Verbesserung der Batterietechnologie deutlich auf.

3.1.3 Neue Konzepte für reine Elektro-Pkw

Nun ist es eine Möglichkeit, den Faktor 26 durch verbesserte Batterietechnologien zu verringern und die Reichweite der Elektrofahrzeuge dadurch zu erhöhen. Grundlage dieser Strategie wäre es, das Konzept der – von Umweltverbänden so titulierten¹² – „Rennreiselimousine“ beizubehalten: ein Pkw für vier bis fünf Erwachsene, in dem weite Strecken über 500 km bequem und mit Geschwindigkeiten von über 160 km/h zurückgelegt werden und natürlich der Stadtverkehr ebenso komfortabel bewältigt werden kann. Mit dem Aufkommen der Elektromobilität stellt sich jedoch auch die Frage, ob dieses Fahrzeugkonzept nicht durch ein Weiteres ergänzt werden kann, ähnlich, wie mit dem Kleinwagen „smart“, trotz der Einschränkung auf zwei Passagiere, eine Marktlücke geschlossen wurde.

Mit BEVs sind weitere Fahrzeugdesigns außerhalb der „Rennreiselimousine“ möglich. Der gängige Zentralmotor, derzeit mehrheitlich ausgeführt als Frontmotor, kann bei Elektroantrieb durch so genannte Radnabenmotoren ersetzt werden. Hierbei sind in zwei oder vier Rädern Elektromotoren eingebaut, so dass die gängige Kraftverteilung des Zentralmotors über den klassischen Antriebsstrang mit Getriebe, Antriebswellen und Differential entfallen kann, was den mechanischen Aufwand reduziert. Nachteilig wirkt sich die Zunahme der ungefederten Massen in den Rädern selbst aus, was den Fahrkomfort reduziert. Da bei Elektroautos Nebenaggregate wie Ölschmierung und Wasserkühlung entfallen, wird der Gesamtaufbau schlanker, und die Verlagerung des Zentralmotors in die Räder erlaubt eine große Designfreiheit. Dabei muss allerdings auch berücksichtigt werden, dass die Sicherheitskonzepte für die Insassen zum Teil auf der abschirmenden Wirkung des Zentralmotors beruhen.

Exemplarisch sei das Konzeptfahrzeug BB1 von Peugeot genannt, das zwar kürzer ist als ein zweisitziger Smart, durch die raumsparenden Radnabenmotoren jedoch vier Passagieren Platz bietet.¹³ Zulieferfirmen

⁹ Hans-Hermann Braess, Ulrich Seiffert: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Wiesbaden 2005, S. 145

¹⁰ Shell Pkw-Szenarien bis 2030, Hamburg 2009, <http://www.shell.de/pkwszenarien>

¹¹ Dietrich Naunin: Hybrid-, Batterie- und Elektrofahrzeuge, Renningen 2007, S. 34

¹² Verschiedene Pressemitteilungen des Verkehrsclub Deutschland e.V., Berlin: „VCD: Elektroautos werden Klima auf absehbare Zeit nicht retten“, 19.08.2009, http://www.vcd.org/pressemitteilung.html?no_cache=1&scale=0&=&tx_ttnews%5Btt_news%5D=649

¹³ Tom Grünweg: Zerknauscht nach Morgen, SPIEGEL online, 10.06.2010; <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,699396,00.html>

wie Continental in Deutschland und Michelin in Frankreich arbeiten an Radnabenmotoren¹⁴, hingegen rückte Mitsubishi beim seit Anfang 2010 in Japan erhältlichen Elektro-Pkw i-MiEV in der Serienfertigung wieder vom Radnabenmotor ab.¹⁵

3.1.4 Das Aufladen der Pkw-Traktionsbatterie

Die Energiedichte der Traktionsbatterie ist für ein Elektrofahrzeug besonders dann wichtig, wenn auf eine große Reichweite gesetzt wird. Anders ist das bei Hybridfahrzeugen, bei denen der Elektroantrieb unterstützend wirkt – hier soll der reichweitenstarke Verbrennungsmotor gerade kurzfristig mit hohen Leistungen unterstützt werden; eine Batterie mit großer Leistungsdichte ist hier Voraussetzung. Wie häufig in physikalisch-chemischen Systemen, können viele Batteriesysteme alternativ auf Energie- oder Leistungsdichte optimiert werden; beides zusammen lässt sich kaum realisieren.

Dennoch ist auch für Elektrofahrzeuge eine hohe Batterie-Leistungsdichte von Interesse, und zwar weniger wegen der raschen Energieabgabe und des daraus folgenden fahrdynamischen Verhaltens, sondern wegen der schnellen Energieaufnahme beim Laden der Fahrzeugbatterie. Nicht nur der bereits besprochene Nachteil des geringen Energieinhalts von Batterien im Vergleich zu Mineralöl wirkt einer Kommerzialisierung entgegen, auch die Ladezeiten unterscheiden sich um Größenordnungen, vom Betanken des Flüssigkraftstoffes in weit weniger als fünf Minuten an einer Tankstelle. Generell herrscht hier immer der Eindruck, es dauere Stunden, bis eine Fahrzeugbatterie aufgeladen sei. Dies ist unter den üblichen Bedingungen auch richtig, vor allem bei den in Haushalten verbauten, einphasigen Steckdosen. Diese geben eine Leistung von maximal 3,6 kW ab, so dass das Nachladen einer typischen Traktionsbatterie mit 16 kWh ca. 4,5 Stunden dauert. Verkürzt wird diese Dauer dadurch, dass die Batterie im Normalfall nicht vollständig entladen wird, um die Batterielebensdauer zu erhöhen. Mehrere Stunden dauert ein Ladevorgang an einer Haushaltssteckdose in jedem Fall, weil sie nur begrenzt Leistung abgeben kann.

Anders sieht das bei „Drehstromanschlüssen“ aus, wie sie in Industrie und Gewerbe üblich sind, aber auch bei „Ladesäulen“ für Elektrofahrzeuge zum Einsatz kommen. Bei diesen ist rund das sechsfache an Leistung entnehmbar, etwa 22 kW, so dass die Fahrzeugbatterie in weniger als einer Stunde vollständig aufgeladen wäre; ein Nachladen von etwa 4 kWh würde unter 15 Minuten dauern.

Diese Angaben berücksichtigen zwar die Leistungsfähigkeit des öffentlichen Stromnetzes, nicht aber die der Batterie. Jeder Schnellladevorgang belastet die Zellen, und das erst recht, wenn die Batterie auf Energie-, nicht aber auf Leistungsdichte optimiert ist. Das vollständige Wiederaufladen in weniger als einer Stunde belastet das Batteriesystem. Nicht nur, weil bei Schnellladung höhere Verluste entstehen und somit die Effizienz sinkt, sondern auch, weil die Zellen rascher altern und sich die Lebensdauer der Batterie verkürzt. Das punktuelle Aufladen der Batterien an Ladesteckdosen könnte auch durch eine drahtlose Stromzuführung von außen erfolgen, etwa durch Induktionsschleifen, wie sie unter anderem die Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr (IAV) erforscht (IAV 2010). Induktionsschleifen in der Fahrbahn erzeugen ein Magnetfeld, am Unterboden des EVs befindet sich als Gegenstück eine weitere Drahtspule, in welcher in Anwesenheit des Magnetfeldes berührungsfrei Strom induziert wird. Dies kann beim Parken oder sogar während der Fahrt geschehen (ebd.). Das Prinzip der elektromagnetischen Induktion bietet zahlreiche Vorteile gegenüber der direkten Stromübertragung per Kabel oder gegenüber Batteriewechseln. Probleme mit der Normung von Steckern entfallen. Der öffentliche Raum wird nicht durch Ladestationen belegt, Fremdzugriffsmöglichkeiten von außen entfallen und es existieren keine Stolperstellen. Außerdem ist die Technologie für Verschleiß und Witterung deutlich weniger anfällig. Wären ausgewählte Straßen mit Induktions-

¹⁴ Wolfgang Stieler: Radnabenmotor im Aufwind?, heise online, 20.03.2008; <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Radnabenmotor-im-Aufwind-191908.html>

¹⁵ Markus Schöttle: Elektroauto i-MiEV am Start: Lehrstück für konsequente Umsetzung, 31.07.2009; <http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/10185/>

schleifen ausgestattet, würde das Problem der begrenzten Reichweite reduziert. Die Ingenieure des IAV gehen davon aus, dass die Technologie in den nächsten Jahren zur Serienreife kommt. Bislang funktioniert das System bereits im Modellversuch im Maßstab 1:28; eine Versuchsstrecke im Maßstab 1:1 ist in Planung (ebd.).

Nachteilig an der Technologie sind die auftretenden Übertragungsverluste bei der Induktion, die IAV mit 10 % beziffert. Da diese vom Abstand zwischen Fahrzeug und Fahrbahn abhängen, wird daran geforscht, diese Distanz zu optimieren. Denkbar sind aktive Fahrwerke, welche die optimale Distanz einstellen (ebd.).

Nach einer Studie von Nissan wird dem Thema Ladekomfort beim Kunden große Bedeutung zugeschrieben. Viele Experten sehen die Probleme auch rund um Kabel- und Steckerstandards als großen Schwachpunkt der Elektromobilität an (Graunitz 2009). Nissan reagierte entsprechend und setzte auf die Induktionsladung für die Zukunft, ein kabelloses Ladesystem ist bereits entwickelt und soll im neuen Zero Emission Vehicle zum Einsatz kommen (Van der Zee, Vaughan 2009).

In Deutschland hat sich zu dem Thema ein Arbeitskreis „Berührungsloses Laden von Elektrofahrzeugen“ angesiedelt im Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE) gegründet (DKE 2009). Aufgehängt unter dem Nationalen Entwicklungsplan wird in Deutschland an dem Thema Energieübertragung per Induktion für den Betrieb von Elektroautos in den Projekten „IndiOn“, „W-Charge“ und „Conductix“ geforscht (VDI/VDE-IT IndiOn o.J.). Während IndiOn vor allem die Übertragung möglichst großer Leistung zum Ziel hat, steht bei den anderen beiden Programmen die grundlegende Technologieentwicklung der induktiven Energieübertragung für 3,5 kW im Mittelpunkt (ebd.).

3.1.5 Alternative Batteriekonzepte

Um die geschilderte Batterieproblematik zu reduzieren, setzt das US-amerikanische Unternehmen „Better Place“ auf ein neuartiges Konzept mit Tauschbatterien. Der Batterietausch passiert vollautomatisch über den Fahrzeugboden an speziellen Servicestationen; anschließend wird die Batterie schonend geladen und in ein anderes Fahrzeug eingebracht. Neben der reinen Infrastruktur muss hierfür ein Fahrzeug-Standard vorliegen, der diese Art des Batterietauschs ermöglicht. Better Place arbeitet dazu u.a. mit Renault-Nissan zusammen, die in Zukunft reine Elektrofahrzeuge anstelle von Hybridfahrzeugen auf den Markt bringen möchten.¹⁶

Das Geschäftsmodell von „Better Place“ sieht vor, dass die Batterie vom Fahrzeugbesitzer geleast wird, was auch die Alterungsfrage abmildert. Der Fahrzeughalter zahlt nicht für die Dienstleistung des Batteriewechsels/ -ladens an sich, sondern einen streckenabhängigen Pauschaltarif. Kritisch ist natürlich die Dichte der Infrastruktur; mit den Pilotländern Israel, Dänemark und australische Ost-Küste (Melbourne/ Sydney/ Brisbane) sind Regionen mit praktikablen Reichweitenverhältnissen ausgewählt worden, in denen zudem eher Vielfahrer anstelle von Gelegenheitsnutzern angesprochen werden sollen.¹⁷ In Deutschland wird Better Place allerdings nicht tätig werden.¹⁸

Deutsche Automobilhersteller wie BMW, Daimler und VW wollen sich in ihrer Flexibilität nicht einschränken lassen (Wirtschaftsblatt 2010). Ihre Gegenargumente lauten: zu teuer, technisch sehr aufwändig

¹⁶ Christoph Ruhkamp: Renault verzichtet auf den Hybrid; FAZ.net, 06.09.2010, <http://www.faz.net/s/RubD16E1F55D21144C4AE3F9DDF52B6E1D9/Doc~E46CF3EB177424E8BAC3BD6376A7C6E27~ATpl~Ecommon~Scontent.html>

¹⁷ Vortrag von Rolf Schumann (Better Place Deutschland): Lösungskonzept zur Skalierung von Elektrofahrzeugen in einen Massenmarkt, gehalten am 26.03.2009 in Fulda auf dem Seminar „Elektrische Energiespeicher“ des VDI Wissensforums

¹⁸ Fahren ohne Nachladen – aber nicht in Deutschland; Handelsblatt.com, 30.08.2010, <http://www.handelsblatt.com/technologie/technik/elektroautos-fahren-ohne-nachladen-aber-nicht-in-deutschland;2644822;0>

und aufgrund der zu erwartenden Effizienzsteigerung der Batterien nicht unbedingt zur Reichweitenverlängerung notwendig.

Die Frage, ob ein Automobilhersteller die Batterie als Abgrenzungsmerkmal zu Wettbewerbern sieht oder nicht, ist sicherlich wichtig für seine Bereitschaft, sich auf eine solche Standardisierung festzulegen. Akteure wie Bosch oder Daimler haben bereits Hunderte von Millionen Euro in die Eigenentwicklung von Fahrzeugbatterien investiert und fürchten, dass sich diese Investitionen bei einer Standardisierung nicht mehr auszahlen werden (ebd.).

Auch Dr. Martin Wietschel vom Fraunhofer ISI sieht das Konzept der Einheitsbatterie bei den OEMs (Original Equipment Manufacturer, Erstausrüster) als kaum durchsetzbar an und weist auf die hohe Kapitalbindung durch die Batterien hin, deren Herstellung schon heute einen Engpass bedeutet (Wietschel 2010). Die heutige Identifikation der Nutzer mit Fahrleistung und -dynamik ihres Fahrzeuges könnte verloren gehen, wenn sich einheitliche Batterien durchsetzen würden.

3.1.6 Zukünftige Weiterentwicklung der Batterien

Doch auch mit der elementaren Lösung, der dem Fahrzeug fest zugeordneten Batterie, besteht natürlich Entwicklungspotential für die Zukunft. So kann das Lithium-Ionen-Batteriesystem weiter ausgereizt werden – die theoretische Grenze liegt bei rund 600 Wh/kg und kann in der Praxis etwa zur Hälfte erreicht werden¹⁹, so dass 300 Wh/kg realisierbar scheinen. Das sind 50 % mehr als beim heutigen energiedichtesten Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-System und etwa doppelt so viel wie bei durchschnittlichen Lithium-Systemen.²⁰ Im Gegensatz zum bekannten „Moore'schen Gesetz“, das die Verdopplung der Leistungsfähigkeit elektronischer Schaltkreise alle zwei Jahre prognostiziert, steigt die Energiedichte von Batterien eher langsam – über große Zeiträume betrachtet sind es etwa 5 % pro Jahr.²¹ Demnach wäre die o.g. realisierbare Grenze in etwa 8 Jahren erreicht. Über die Energiedichte hinaus sind Verbesserungen bei den Kosten, der Leistungsdichte, der Sicherheit, dem Temperaturverhalten, der Lebensdauer und beim Recycling unabdingbar, sollen hier aber nicht detailliert dargestellt werden.

Derzeit stellt das Lithium-Ionen-Batteriesystem in seinen vielfältigen Varianten den einzigen kommerzialisierten Energiespeicher dar, der für Elektrofahrzeuganwendungen wirklich attraktiv ist. Eine neuartige Batterie und somit ein Hoffnungsträger befindet sich in der Erforschung, die Metall-Luft-Batterie. Diese profitiert davon, dass für eine der Elektroden der Reaktand Sauerstoff nicht in der Batterie mitgeführt werden muss, sondern der Umgebungsluft entnommen werden kann. Dementsprechend sinkt das Batteriegewicht und die Energiedichte erhöht sich. Als nicht-wiederaufladbare Hörgerätebatterien sind beispielsweise Zink-Luft-Batterien seit vielen Jahren in der Massenfertigung. Eine zu Flüssigtreibstoffen konkurrenzfähige Energiedichte von theoretisch 5000 Wh/kg und in der Praxis von weit über 500 Wh/kg scheint möglich. Bis zur Marktreife wird es aber noch über 10 Jahre dauern, für die sicherheitskritischen Automotive-Anwendungen ist die Serienreife u.U. erst in 20 Jahren gegeben.^{22, 23}

¹⁹ Vortrag von Margret Wohlfahrt-Mehrens (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung): Weltweite Entwicklungstrends für Energiespeicher, gehalten am 25.03.2009 in Fulda auf dem Seminar „Elektrische Energiespeicher“ des VDI Wissensforums

²⁰ Denis Dilba, „Die Spannung steigt“, in: Technology Review (dt.), Mai 2008

²¹ Deborah Estrin et al. (2002): Connecting the physical world with pervasive networks, IEEE Pervasive Computing, vol. 1, no. 1, pp. 59-69, Jan.-Mar. 2002

²² Katherine Bourzac: Neue Chance für die Luft-Batterie; Technology Review online, 19.06.2009, <http://heise.de/-276585>

²³ Vortrag von Margret Wohlfahrt-Mehrens (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung): Weltweite Entwicklungstrends für Energiespeicher, gehalten am 25.03.2009 in Fulda auf dem Seminar „Elektrische Energiespeicher“ des VDI Wissensforums

3.1.7 Hybridantriebe

Für rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge ist die Batterie das limitierende Element. Zwar sind in der Fahrzeugentwicklung eine Vielzahl weiterer Herausforderungen zu lösen, wie etwa der geschickte Einsatz von Elektromotoren oder die Auslegung der Leistungselektronik, hierbei handelt es sich jedoch um ingenieurwissenschaftliche Themen. Dennoch kann die dominierende Bedeutung der Batterietechnik durch Hybridantriebe reduziert werden, bei denen die Antriebsenergie auf zwei verschiedene Weisen bereitgestellt wird, sowohl über einen Verbrennungsmotor mit Flüssigkraftstoff, als auch über Elektromotoren mit Batteriespeisung.

Weithin bekannt sind Hybridautos der japanischen Hersteller Toyota und Honda, die seit über 10 Jahren in Serienfertigung am Markt erhältlich sind. Allein Toyota hat bis Juli 2010 weltweit 2,68 Millionen Hybridfahrzeuge abgesetzt, Honda kommt auf über 500.000 verkaufte Einheiten.^{24, 25} Von deutschen Pkw-Herstellern sind seit dem Jahr 2009 der Mercedes S400 hybrid, BMW ActiveHybrid 7 und BMW ActiveHybrid X6 erhältlich (siehe Tabelle 2 im Anhang); nur in den USA wird der dort produzierte Mercedes ML 450 Hybrid angeboten.²⁶ Alle diese Modelle sind hauptsächlich auf den Betrieb mit dem Ottomotor ausgelegt, der Elektromotor wirkt nur unterstützend, also gerade in den Betriebsbereichen, in denen der Ottomotor prinzipbedingte Nachteile hat. Dieser Fahrzeugtyp ist nicht Bestandteil des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität der Bundesregierung. Daher soll an dieser Stelle auf zwei weitere Hybridkonzepte im Sinne des Nationalen Entwicklungsplans eingegangen werden, deren Markteinführung in Europa von einigen Herstellern ab 2011 angekündigt ist: Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung (REEV) und Plug-In-Hybridfahrzeuge (PHEV).

3.1.8 Plug-In-Hybridfahrzeuge

Die Plug-In-Hybridfahrzeuge (PHEV) sind im Prinzip an die bereits genannten auf dem Markt befindlichen Parallelhybrid-Konzepte angelehnt. „Parallel“ bedeutet in diesem Fall, dass über ein komplexes Getriebe sowohl der Verbrennungsmotor als auch der Elektromotor das Fahrzeug antreibt – beides ist im mechanischen Sinne parallel möglich. Die in der Batterie gespeicherte elektrische Energie wird beim klassischen Parallelhybrid jedoch ausschließlich durch Rekuperation im Fahrzeug gewonnen, indem der Elektromotor beim Bremsen und bei Talfahrten als Generator geschaltet wird (elektromotorische Bremse). Die Batteriekapazität an Bord ist gering (etwa ein Zehntel eines rein elektrischen Fahrzeugs, BEV) und reicht aus, das Auto über wenige Kilometer im Stadtverkehr bis etwa 50 km/h rein elektrisch anzutreiben.

Die PHEVs basieren auf diesem Konzept, besitzen jedoch eine größer dimensionierte Batterie, die nicht mehr ausschließlich über Bordmittel geladen werden muss. Hier kommt das „Plug-in“, die Steckdose, ins Spiel, denn sie können über einen Anschluss ans öffentliche Stromnetz geladen werden. Ihre rein elektrische Reichweite ist daher größer als beim klassischen Hybridantrieb; sie beträgt z.B. beim für das Jahr 2012 avisierten Toyota Prius PHEV rund 20 km.²⁷ Damit können sich diese Fahrzeuge auch in Zonen strengster Abgasvorschriften uneingeschränkt bewegen. Dennoch sind sie über den Verbrennungsmotor mit einer hohen Reichweite von mehreren hundert Kilometern mobil, und auch hier wird die Batterie durch die elektromotorische Bremse nachgeladen. Die PHEV können also Strom aus der Steckdose laden, bewegen

²⁴ Toyota News Release, 05.08.2010: Sales in Japan of TMC Hybrids Top 1 Million Units, Global Sales Pass 2.68 Million Units; <http://www2.toyota.co.jp/en/news/10/08/0805.html>

²⁵ Jazz Hybrid feiert Weltpremiere auf dem Pariser Automobilsalon 2010, 25.08.2010; http://www.honda.at/content/news/common_news_68910.php

²⁶ Boris Schmidt: In Amerika beginnt die Zukunft des Autofahrens, Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, 29.08.2010

²⁷ „Plug-In Hybride im Praxistest“, 27.04.2010; http://www.toyota.de/about/news/details_2010_17.aspx

sich über mehrere Kilometer emissionsfrei und stellen dennoch für den Käufer eine „Rennreiselimousine“ mit gewohnter Reichweite und üblichem Komfort dar, was sie für Elektromobilität prädestiniert.

Obwohl der Verbrennungsmotor bei PHEV weiterhin ein wichtiges Element der Antriebstechnik bleibt, ist er üblicherweise anders ausgelegt als bei reinen Ottomotorfahrzeugen. So wird der Verbrennungsmotor in (Plug-In-)Hybridfahrzeugen häufig im so genannten Atkinson-Zyklus betrieben, der bei höheren Drehzahlen einen besseren Wirkungsgrad besitzt, jedoch wenig Drehmoment, also Beschleunigungsvermögen, auf die Straße bringt. Durch die Unterstützung des Elektromotors, der in fast jedem Betriebsbereich ein hohes Drehmoment generieren kann, wird dieser Nachteil ausgeglichen.²⁸

3.1.9 Elektrofahrzeuge mit Range Extender

Bei den Autos mit Reichweitenverlängerung (REEV) ist die Konzeption anders; hier liegt der Schwerpunkt auf dem elektrischen Antrieb, denn der an Bord befindliche Verbrennungsmotor kann die Räder nicht direkt antreiben. Der Verbrennungsmotor ist mit seinem Generator „in Serie“ vor der an Bord befindlichen Batterie geschaltet: er soll dem Elektromotor Strom liefern, wenn die Batterie leer ist und kann die Batterie bei Bedarf während der Fahrt nachladen. Es handelt sich also um ein Elektroauto, das mit dem Verbrennungsmotor im Wortsinne zur Reichweitenverlängerung ausgerüstet ist, was den englischen Begriff „Range Extender“ erklärt. Prominentestes Beispiel des seriellen Hybridantriebs ist das von General Motors (GM) konzipierte und vor der Serienfertigung befindliche Modell Chevrolet Volt (US-Markt) bzw. Opel Ampera (europäischer Markt).

Für den Kunden handelt es sich beim Fahrgefühl also um ein echtes Elektrofahrzeug, bei dem der an Bord befindliche Verbrennungsmotor nur im Falle leerer Batterien gestartet wird. Der Verbrennungsmotor läuft dann stets mit konstanter Geschwindigkeit im optimalen Betriebspunkt und daher recht verbrauchsarm. Zudem kann es sich um einen kleinen Motor mit wenig Hubraum handeln. Dies ist beim ersten seriellen Hybridfahrzeug von GM allerdings noch nicht der Fall, da hier ein Motor aus der Serienproduktion verwendet werden sollte. Der kleinste GM-Motor mit 1 Liter Hubraum ist ein Dreizylinder mit eher unruhigem Laufverhalten, das gerade beim temporären Einsatz im Fahrzeug unangenehm auffallen würde, weshalb sich GM für einen überdimensionierten, aber wohlbekannteren 1,2-Liter-Ottomotor aus laufender Produktion entschieden hat.

Gerade für den Einsatz als Range Extender sind auch andere Motorkonzepte als der konventionelle Hubkolbenmotor denkbar, beispielsweise die SWingEngine oder der Hüttlin-Kugelmotor.

Die SWingEngine basiert auf dem SABET-Motor, der wie der Wankel-Motor zu den Rotationskolbenmotoren gehört. Gegenüber den üblichen Viertakt-Hubkolbenmotoren zeichnet sie sich bei gleicher Leistung durch einen kleineren Bauraum, geringeres Gewicht und geringere Herstellungskosten aus, da die Teilezahl kleiner ist. Die für den Einsatz in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen wichtigen Ansprüche an Laufruhe und Geräuschentwicklung werden erfüllt.

Der Hüttlin-Kugelmotor ist ein Gegenkolben-Viertaktmotor, um den herum ein elektrischer Generator angeordnet ist. Das Konzept ist von vornherein nicht auf mechanischen Antrieb, sondern auf die Erzeugung elektrischen Stroms angelegt. Auch dieser Motor zeichnet sich durch ein geringes Gewicht und weniger als ein Drittel der Komponentenanzahl eines Vierzylinder-Ottomotors aus.

Die skizzierten und auch andere alternative Motorkonzepte haben es in der Anwendung in Nischenprodukten wie Elektrofahrzeugen mit Range Extender schwer. In die Weiterentwicklung des klassischen Hubkolbenmotors sind in den letzten Jahrzehnten große finanzielle Mittel investiert worden, dabei konnten Verbrauch und Abgasausstoß bei steigender Motorleistung stets gesenkt werden. Für neue Spezialanwendun-

²⁸ Hans-Hermann Braess, Ulrich Seiffert: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Wiesbaden 2005, S. 129

gen wie Range Extender sind aus klassischen Verbrennungsfahrzeugen „konvertierte“ Motoren rasch verfügbar, mittelfristig werden originär neu entwickelte Aggregate Wettbewerbsvorteile und Alleinstellungsmerkmale bieten.

3.1.10 Elektromobilität und intelligente Stromnetze

Neben der reinen Fahrzeugtechnik berücksichtigt der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung nicht nur die Fahrzeuge als Stromverbraucher, sondern auch die Integration der Batterien von Elektrofahrzeugen als Stromspeicher. Dieser Netzintegration liegt folgender Gedanke zugrunde: Elektrische Energie muss in den Kraftwerken in dem Moment erzeugt werden, wo sie von den Kunden verbraucht wird. Dies wird zunehmend schwieriger, da die bisherige Netzstruktur mit ihren zentralen Großkraftwerken durch die vermehrte Erzeugung regenerativer Energien (insbesondere Photovoltaik und Windkraftanlagen) an ihre Grenzen stößt. Nötig wäre also ein kostspieliger Ausbau der Stromnetze. Stattdessen soll nur ein punktueller Ausbau der Stromnetze erfolgen, wobei die Energieflüsse durch neu eingeführte Informations- und Kommunikationstechnologien intelligenter geregelt werden können – eine Art Engpassmanagement. Dazu gehören auch „intelligente Stromzähler“, die Privatkunden und Energieversorger zeitnah über den aktuellen Verbrauch informieren und wechselnde Tarife anbieten, zum Beispiel sinkende Preise bei einem Angebotsüberschuss der kaum steuerbaren regenerativen Energien. Im Umkehrschluss ist langfristig eine variable Einspeisevergütung für „grünen Strom“ denkbar, bei dem Stromeinspeisern ein fixer Sockelbetrag gezahlt wird, ergänzt um eine Zulage zu Zeiten großer Stromnachfrage.

Der Verschiebung zwischen Energieerzeugung und -verbrauch soll in Zukunft mit Hilfe der Batterien in Elektroautos als Puffer beizukommen sein. Bisher sind große Pumpspeicherwerke die einzige Möglichkeit, Strom zwischen zu speichern, mit begrenzter Kapazität und auch begrenzter Ausbaufähigkeit. Da das intelligente Stromnetz aber sowieso auf kleinteilig verteilte Elemente zielt²⁹, ist eine Vielzahl von – privat betriebenen – Energiespeichern sinnvoll. Für den Pkw-Besitzer besteht allerdings ein Zielkonflikt: Jeder zusätzliche, allein durch den Bedarf des Stromnetzes induzierte Lade-/Entladezyklus lässt die Batterie rascher altern. Da diese jedoch die Achillesferse für Elektro-Pkw darstellt, wird ein Fahrzeugbesitzer abwägen müssen, ob die geringfügigen Einnahmen als Strompuffer den Wertverlust durch Verschleiß übersteigen (Buck 2009a).

Doch auch ohne Pufferfunktion der Batterie ist das intelligente Stromnetz für Elektrofahrzeuge von Bedeutung: es ermöglicht die zeitlich gezielte Steuerung des Ladevorgangs, dessen Dauer dann nicht allein vom Autobesitzer festgelegt wird. Die Stromnachfrage selbst wird durch Elektroautos nicht so stark erhöht, wie gemeinhin angenommen wird. In einer Modellrechnung wird bei einem Marktanteil von 10 % Elektrofahrzeugen eine um 1,6 % gestiegene Stromnachfrage prognostiziert, bei 30 % Marktanteil sind es 4,8 % mehr Strombedarf.³⁰

Manche Regionen Europas, vor allem Dänemark und in Deutschland die Harzregion, beziehen bereits heute einen Großteil ihres Stroms aus erneuerbaren Energien, insbesondere Windenergie. Bei Starkwind übersteigt der produzierte Strom hier teilweise schon heute den Bedarf (Schröder 2010). Für diese Regionen sind „Smart Grid Services“, die sich durch Elektroautos ergeben, besonders attraktiv. An der Kopplung von schwankender Windenergie und Elektromobilität wird derzeit in Dänemark im Projekt EDISON gearbeitet. Der Projektname steht für „Electric vehicles in a Distributed and Integrated market using Sustainable energy and Open Networks“ und ist mit bekannten Partnern aus Industrie (IBM, Siemens), Energieversorgern (Dong Energy) und Forschung (DTU Technical University of Denmark) besetzt (DTU 2010). Bei dem

²⁹ Pressemitteilung (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE): Intelligente Vermarktung von Strom aus dezentralen Energiequellen, 02.09.2010; <http://idw-online.de/pages/de/news384761>

³⁰ Daniel Brumme, Wolfgang Schufft: Mögliche Auswirkungen zukünftiger Elektromobilität auf den Strompreis, in: ew – das Magazin für die Energiewirtschaft, 13/2009 (15.06.2010), S. 32ff

Projekt steht der bidirektionale Stromfluss im Mittelpunkt. Am Forschungszentrum Risø stehen Energieproduzenten (Windräder, Solarstromanlagen) und Energieverbraucher (Elektroheizungen in den Bürogebäuden, Hybridautos und mehrere weitere Batterien) zur Verfügung, um ein eigenständiges Stromnetz zu simulieren, und das Zusammenspiel der Komponenten zu testen. Ein Praxistest wird 2011 auf der Insel Bornholm starten (Schröder 2010).

Das vieldiskutierte Potential der Elektroautos, Regelleistung für kurzzeitig überschüssige Energie in den Netzen bereitzustellen, sei anhand eines Rechenbeispiels von Prof. Gernot Spiegelberg von Siemens Corporate Technology verdeutlicht (Buck 2009b): Danach sind 200.000 Elektrofahrzeuge, welche sich am Netz befinden und eine Einzelleistung von 40 kW haben, in der Lage, eine Regelleistung von 8 GW bereitzustellen, was laut Siemens mehr ist, als derzeit in Deutschland zur Abfederung von Lastspitzen an Regelleistung benötigt wird (Schröder 2009). In Japan werden Batterien als Puffer für die Netzversorgung bereits flächendeckend angewandt. Hier gleichen Natrium-Schwefel-Batterien, die in Containern nah bei den Endnutzern aufgestellt werden, Fluktuationen aus erneuerbaren Energiequellen aus und dienen in Ausnahmefällen auch der Notstromversorgung (Buck 2009a).

Die technischen Möglichkeiten, um Elektroautos möglichst wirtschaftlich in die bestehenden Energie- und Verkehrsnetze einzubinden, werden heute von vielen Akteuren erforscht. Auf Bundesebene wird das Thema durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und den Forschungsschwerpunkt „Intelligente Netze, erneuerbare Energien und Elektromobilität“ adressiert. Insgesamt sieben ausgewählte Modellprojekte werden hierfür im Rahmen des Förderprogramms „IKT für Elektromobilität“ mit rund 100 Millionen Euro gefördert.^{31, 32} Ziel ist es, die Informations- und Kommunikationstechnologien, welche für das Laden, die Steuerung und die Abrechnung von Elektrofahrzeugen benötigt wird, sowie darauf aufbauende Geschäftsmodelle zu entwickeln und in Feldversuchen praktisch zu erproben.³³ Die Teilprojekte sind verschiedenartig gestaltet. So befasst sich eines insbesondere mit Elektromobilität in ländlichen Regionen. Um die hier auftretenden längeren Distanzen zu bewerkstelligen, wird ein Schwerpunkt auf den Batteriewechsel gesetzt. Das Teilprojekt „eTour-Allgäu“ hingegen befasst sich mit der Integration der Elektromobilität in eine ländliche Tourismus-Region mit bergiger Topographie. Hier werden Aspekte wie Erholungswert der Landschaft, aber auch das Bedürfnis der Urlauber nach individueller Mobilität berücksichtigt.³⁴

3.2 Sozio-ökonomische und ökologische Aspekte

Die oben geschilderten technischen Entwicklungen stehen in Wechselwirkung mit zahlreichen anderen Faktoren, die teilweise Bedingung und teilweise Folge einer stärkeren Marktdurchdringung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen darstellen. Forschung und Entwicklung von Technologien findet keineswegs in einem abgeschlossenen Raum nach eigenen Gesetzen statt, sondern ist in die Gesellschaft eingebettet, von deren Voraussetzungen, Leitbildern, Paradigmen oder Nachfragestrukturen abhängig und wiederum selbst in der Lage, diese Voraussetzungen durch wissenschaftlich-technischen Fortschritt zu beeinflussen. Man spricht von einer Ko-Evolution sozio-ökonomischer und technischer Faktoren.

So stellt die Elektromobilität nicht nur die Akteure der OEMs, Zulieferer und Infrastrukturanbieter vor Herausforderungen, letztlich werden sich alle Mitglieder der Gesellschaft mit Fragen bezüglich der Ausgestaltung der eigenen Mobilität, der Sicherheit und der Bedienung der neuen Technologie, veränderter Infrastruktur etc. auseinandersetzen müssen. Im Folgenden soll ein Einblick gegeben werden, mit welchen sozio-ökonomischen Themenfeldern die Elektromobilität in enger Wechselwirkung steht und wie diese in der

³¹ <http://www.futurefleet.de/>

³² Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2010

³³ <http://www.ikt-em.de/>

³⁴ <http://www.ee-tour.de/>

Literatur und in Projekten behandelt werden. Dazu gehört auch ein Blick auf heutige Nutzer der Technologie wie auch auf Einschätzungen zu zukünftigen Nutzergruppen. Um die zukünftigen Nachfragemuster besser einschätzen zu können, müssen Änderungen im Mobilitätsverhalten, in der Einstellung zum Auto und auch demographische Entwicklungen berücksichtigt werden. Weiter spielt die Bedienbarkeit und Sicherheit der neuen Fahrzeuge eine wichtige Rolle. Ökonomische Faktoren wie Kaufpreis und Total Cost of Ownership (TCO) sind zu beachten. Zudem wird auf die Umweltwirkungen der Elektromobilität und auf die Abhängigkeit von Rohstoffen kurz eingegangen.

3.2.1 Erwartete Zielgruppen und Mobilitätsmuster

Heutige Einstellungen und Erwartungen der Verbraucher

Die großen Unterschiede in den Einschätzungen der Entwicklung der Zulassungszahlen von BEVs rühren nicht zuletzt daher, dass Prognosen zur Kaufentscheidung der Verbraucher sehr schwierig sind. Es gibt keine stabile empirische Basis, da BEVs bisher kaum im Markt sind. Vergleiche mit herkömmlichen Fahrzeugen können als Indikatoren verwendet werden, lassen sich aber nur bedingt auf die BEVs übertragen. Viele Studien versuchen dennoch das zukünftige Käuferverhalten besser zu verstehen. Dabei wird oft mit so genannten Stated-Preference-Methoden gearbeitet, d.h. eine Befragung die sich auf hypothetische Märkte bezieht (z.B. werden Verbraucher Fragen gestellt wie: Was wäre wenn ein BEV mit einem Preis von x Euro und einer Batteriereichweite von y km erhältlich wären? Würden Sie es kaufen?).

Umfragen z.B. von BITKOM (2010) oder TNS Infratest und RolandBerger (2010) kommen zu dem Ergebnis, dass viele Menschen (30 bis 40 %) am Kauf eines Elektroautos interessiert sind und sich den Kauf vorstellen können. Allerdings wird diese Kaufentscheidung vom Preis und Komfortansprüchen abhängig gemacht. Besonders hoch scheint die Kaufbereitschaft in der Gruppe der 30- bis 49-Jährigen zu sein, hier können sich laut BITKOM sogar 60 % einen Kauf vorstellen. Gefragt nach dem bevorzugten Geschäftsmodell für den Kauf, gaben in einer RolandBerger-Studie fast 80 % der Deutschen, aber nur 56 % der Franzosen an, den klassischen Kauf zu favorisieren. Das Leasing der Batterie war in beiden Ländern auf Platz 2, die Möglichkeit des klassischen Leasings (von Auto und Batterie) oder die Nutzung von Programmen, in denen der Kunde Mobilitätspunkte erwirbt und dann unterschiedliche Mobilitätslösungen nutzen kann, waren deutlich weniger attraktiv. Da einige der heute diskutierten Geschäftsmodelle für BEVs (vgl. Kapitel 3.2.2) das Leasing der Batterie oder des gesamten Paketes aus Fahrzeug und Batterie vorsehen, ist die hohe Tendenz zum eigenen Autobesitz unter den deutschen Befragten verstärkt zu beachten. Offen bleibt die Frage, ob die Akzeptanz von Geschäftsmodellen wie Leasing mit deren Verbreitung steigen würde, ob sich die Verbraucher also an solche Geschäftsmodelle gewöhnen könnten.

Damit stellt sich außerdem die Frage, ob und wie viel die heutigen Verbraucher bereit wären, für den vollständigen Besitz eines BEV zu bezahlen. Die Ergebnisse mehrerer Umfragen weisen darauf hin, dass einige Gruppen potentieller Käufer bereit sind, einen Mehrpreis von ca. 3000 Euro bei der Anschaffung zu akzeptieren (RolandBerger 2010). Für die meisten Verbraucher liegt der akzeptable Mehrpreis deutlich darunter (ebd.), andere sind gar nicht bereit, Mehrkosten für die neue Technologie in Kauf zu nehmen. Nach einer Befragung von Fraunhofer und PwC (2010) prophezeien viele Verbraucher dem Elektroauto eine wichtige Rolle in der Zukunft, wollen sich aber aus Kostengründen zunächst keines kaufen. Biere et al. (2009) schätzen ab, ab wann und für wen sich der Kauf eines EV lohnen wird. Neben den als fix angesehenen Ausgaben für Betrieb und Kauf, betrachten die Autoren insbesondere das Fahrprofil der Nutzer. Je nach Gesamtfahrleistung, insbesondere dem Anteil der elektrisch zurückgelegten und der Innerorts gefahrenen Kilometer ergeben sich 4 % der deutschen PKW-Nutzer als potentielle Erstnutzer, für die es wirtschaftlich wäre ab 2015 ein kleines, rein elektrisches Stadtfahrzeug zu kaufen. Befragt zu speziellen Serviceleistungen rund um die Elektromobilität, die erwünscht sind, wurden mehrheitlich Schnellladestationen, Hilfe bei

der Suche nach Auflademöglichkeiten durch Navigationssoftware und eine erweiterte Garantie (inklusive der Batterie) von deutschen Befragten genannt (RolandBerger 2010). Befragungsergebnisse weisen darauf hin, dass auch das Vorhandensein einer Ladeinfrastruktur ein wichtiges Kriterium für den Kauf eines Elektrofahrzeugs darstellt. In der gleichen Befragung zeigte sich aber auch, dass für die meisten Autofahrer bisher die Elektromobilität eng mit der Möglichkeit verknüpft ist, die Batterie zu Hause zu laden.

Neben den hohen Anschaffungskosten von Elektrofahrzeugen ist es auch der überproportional hohe Wertverlust der Fahrzeuge, der den Nutzern Angst macht. Focus Online (2010) schreckte seine Leserschaft im Sommer mit dem Titel „Elektroautos nach fünf Jahren fast wertlos“ auf. Gemeint war die Aussage einer Studie von Eurotax Glass`s (2010), dass Elektrofahrzeuge nach fünf Jahren nur noch einen Restwert von 10 % besitzen würden. Hauptgrund für den starken Wertverlust ist der Leistungsverlust der Batterien, verbunden mit einem potentiellen teuren Austausch derselben nach einigen Jahren. Nicht ganz so dramatisch quantifiziert das Risiko eines stark sinkenden Fahrzeug-Restwertes bzw. eines mehrere tausend Euro teuren Batterietauschs eine Studie von Eurotax-Schwacke BDW Automotive aus dem Jahr 2010: Ein im Jahr 2012 angeschafftes Elektrofahrzeug mit 30.000 Euro Neupreis hat demnach drei Jahre später nur noch einen Restwert von 31 %, während es bei einem vergleichbaren Benziner, Neupreis 20.000 Euro noch 43 % wären (Mayer 2010).

Damit die Total Costs of Ownership eines Elektrofahrzeuges auf ein vergleichbares Niveau mit dem konventioneller Fahrzeuge kommt, müssten die hohen Anschaffungspreise durch dauerhaft niedrigere Betriebskosten und einen höheren Restwert der Batterien ausgeglichen werden. Der letzt genannte Punkt wird durch Überlegungen wie der Zweitnutzung der Batterien als stationäre Stromspeicher aufgegriffen, daneben sind auch viele der in Kapitel 3.2.2 erwähnten Geschäftsmodelle oder auch Garantiekonditionen der Hersteller weitere Optionen, um den Wertverlust zu kompensieren.

Neben monetären Überlegungen und Leistungsaspekten können auch Umweltschutzaspekte eine wichtige Rolle beim Kauf von Elektrofahrzeugen spielen. In der oben erwähnten Befragung von Fraunhofer und PwC (2010) gab knapp jeder zweite Befragte an, Auswirkungen auf die Umwelt bei der privaten Verkehrsmittelwahl zu berücksichtigen. Eine Mehrheit von etwa zwei Drittel der Befragten macht sich um die negativen ökologischen Auswirkungen des Autofahrens Sorgen. Rund die Hälfte sieht das Elektroauto als eine Lösung zur Begrenzung der Umweltverschmutzung an, genauso Viele sind sich aber auch im Klaren darüber, dass dies nur gelingen kann, wenn der Strom für die Elektromobilität ebenfalls umweltfreundlich produziert wird.

Bereits heute gibt es trotz der genannten ökonomischen und technischen Hürden einige, allerdings wenige Nutzer von Elektrofahrzeugen, auf deren Charakterisierung im Folgenden kurz eingegangen wird. Eine Auswertung von Knie et al. (allerdings aus dem Jahr 1999) von verschiedenen veröffentlichten Befragungen in Deutschland mit insgesamt 1.700 privat genutzten Elektroautomobilen ergab als soziodemographisches Profil, dass die bisherigen Käufer überwiegend Männer (75 %), typischerweise zwischen 35 und 55 Jahre alt sind, zum überwiegenden Teil (71 %) einen Hochschulabschluss besitzen, ein recht hohes Einkommen haben und meist berufstätig (86 %) sind. Die befragten Nutzer kommen häufig aus technischen (39 %) oder sozialen Berufen (35 %) und sind Hauseigentümer (67 %), was den Ladevorgang erleichtert. Die durchschnittliche Haushaltsgröße der Untersuchungen lag bei 2,6 Personen, der typische Elektromobilitätsnutzer war also männlich, mittelalt, wohlverdienend mit eigenem Haus und Kindern. Gerade Familien haben ein hohes Mobilitätsbedürfnis und dürften besonders oft zu einem Zweitwagen tendieren. Knie et al. (1999) identifizieren vier typische Nutzergruppen: die „Öko-Promotoren“, die „Techno-Promotoren“, die „individuellen Stadtfahrer“ und die „wohlhabenden Neugierigen“, wobei letztere in BEVs vor allem einen Aufmerksamkeitserzeuger sehen. Damit ergeben sich zahlreiche Optionen für Geschäfts- und Fahrzeugmodelle. Bei den „Öko-Promotoren“ soll das Fahrzeug möglichst ökologisch sein, ein „normales“ Auto ersetzen und eine Ergänzung zum ÖPNV darstellen (ebd.). Die „Techno-Promotoren“ fühlen sich von den tech-

nischen Neuerungen angezogen, legen Wert auf Energieeffizienz und Fahrkomfort. Umweltschutzaspekte stehen hier nicht im Vordergrund, Spezialausstattungen und der neuesten Stand der Technik dürften hier verkaufsfördernd wirken. Beim „individuellen Stadtfahrer“ steht der persönliche Nutzen als flexibles Fortbewegungsmittel in der Stadt im Vordergrund, sie nutzen häufig den ÖPNV, leben meist in der Stadt, oft auch in Einpersonenhaushalten. Hier könnte die verstärkte Nutzung von Elektrofahrzeugen dazu führen, dass weniger ÖPNV in Anspruch genommen wird. Die letzte Gruppe der „wohlhabenden Neugierigen“ findet es „schick“, ein Elektromobil zu besitzen, hier sind also das Design und die Erkennbarkeit als Elektrofahrzeug für Andere wichtige Kriterien für den Käufer; der Preis dürfte eine untergeordnete Rolle spielen.

Reichweite und Ladezeiten in der Problemwahrnehmung

Auf die Frage, welche Herausforderungen die Elektromobilität noch vor sich hat, kommt fast immer das Argument der geringen Reichweite auf. Obwohl der durchschnittliche Deutsche an 80 % der Tage im Jahr weniger als 40 km zurücklegt (Marwede, Knoll 2010), schrecken viele Kaufinteressenten vor einem Auto mit geringerer Reichweite als diejenige der heute üblichen Diesel- und Benzinfahrzeuge zurück. Gregor Matthis von der Beratungsfirma Bain spricht daher von „Range-xiety“:

„Es gibt ein Range-xiety genanntes Phänomen. Das ist die Angst von Autofahrern, mit dem Wagen nicht weit genug zu kommen“ (Financial Times Deutschland 2010a). „Tatsächlich zeigen Tests etwa von Nutzern von E-Autos in London, dass die heute noch begrenzte Reichweite für sie nach kurzer Eingewöhnung kein Thema ist.“

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Psychologen der TU Chemnitz, die das Pilotprojekt mit 50 MINI E von BMW in Berlin wissenschaftlich begleiten. Nach der Auswertung der ersten Testphase von 6 Monaten und 40 Probanden kommen sie zu dem Ergebnis, dass mehr als 90 % der Testpersonen die Reichweite von ca. 150 km als ausreichend empfanden (TU Chemnitz 2010). „Zwei Drittel der Nutzer fühlten sich mit dem MINI E genauso flexibel wie mit einem herkömmlichen Fahrzeug“ (ebd.). Lediglich 14 % der geplanten Fahrten konnten die Studienteilnehmer nicht antreten, wobei es hierfür verschiedene Gründe gab, wie zu geringen Stauraum, nicht genug Platz für Passagiere, zu geringe Reichweite oder unzureichend aufgeladene Batterien. Nicht immer war demnach die durch die Batterie begrenzte Reichweite Ursache für die Nicht-Nutzung.

Eine weitere Einschränkung gegenüber den gewohnten Verhaltensmustern betrifft die Ladezeiten, die zumindest an der heimischen Steckdose mehrere Stunden betragen können und damit in einer ganz anderen Größenordnung liegen, als die beim Betanken mit Diesel oder Benzin üblichen Zeiten. Es kann nur vermutet werden, dass ähnlich wie oben für die Reichweite beschrieben, auch hier eine Gewöhnung stattfinden könnte, zumal die Fahrzeuge in Deutschland im Schnitt ca. 23 Stunden am Tag ruhen, womit rein rechnerisch genug Ladezeit zur Verfügung steht (rechnerisch würde allerdings auch die Reichweite für diese ein Stunde durchschnittlicher Nutzungsdauer ausreichen). Die Ergebnisse aus den zahlreichen Pilotprojekten weisen auf einen „Bewusstseinswandel“ hinsichtlich des Tankvorgangs hin (vg. Farunhofer & PwC 2010): Die Batterie wird dabei nicht erst aufgeladen, wenn sie bis zu einem bestimmten Grad leer ist. Das Laden wird vielmehr als kontinuierlicher Prozess in die Alltagsroutinen eingebaut, also in den Zeiten, wenn das Fahrzeug ruht und eine Ladestation vorhanden ist, vollzogen.

Die unterschiedlichen technischen Möglichkeiten, um geringen Reichweiten und langen Ladezeiten entgegenzuwirken, wurden bereits in Kapitel 3.1 dargestellt. Innovative Geschäftsmodelle spielen dabei eine wichtige Rolle (siehe Kapitel 3.2.2), so lässt sich das schnelle „Aufladen“ über den Austausch von Batterien nur zusammen mit einem entsprechenden Geschäftsmodell realisieren. Neben der Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnik und Effizienzsteigerung der Batterie um die Reichweite von BEVs zu erhöhen, ist der

Umgang mit der realen oder gefühlten „Angst“ vor dem Liegenbleiben wegen einer leeren Batterie sicherlich ein Schlüsselement und wird von „künftigen Geschäftsmodellen adressiert werden müssen. Better Place (siehe 3.2.2) etwa sieht explizit einen Pannenservice vor, der einspringt, falls der Nutzer mit einer leeren Batterie liegen geblieben ist. Bei der Diskussion nicht zu vergessen ist aber auch, dass die Ansprüche der Kunden an die Reichweite eines Fahrzeuges länderabhängig, kulturell und generationsabhängig sehr unterschiedlich sein können. In China und Indien sind sie beispielsweise deutlich geringer als in den USA, wo große Distanzen üblich und die Menschen an eine schnelle und komfortable Mobilität gewöhnt sind (Agassi 2009).

Ein anderer Ansatz, um die Elektromobilität attraktiver zu machen und deren Alltagstauglichkeit trotz der als gering empfundener Reichweite zu verbessern, ist die Schaffung und gezielte Bereitstellung von intermodalen Ergänzungsangeboten, welche durchgehende Reiseketten für die Nutzer von Elektrofahrzeugen ermöglichen (Deutsches Verkehrsforum 2009). Hierfür sollten nach Meinung des Deutschen Verkehrsforums speziell öffentliche Verkehrsmittel in das Gesamtkonzept integriert und der Einsatz modernster Informationstechnologie und Echtzeit-Verkehrsinformationen verstärkt werden, um Elektrofahrzeuge optimal nutzbar zu machen.

Zur Entwicklung und Flexibilität von Mobilitätsmustern

Die Deutschen reisen immer mehr, wechseln häufiger den Arbeitsplatz, führen Fernbeziehungen und nehmen für kulturelle Großveranstaltungen und Sport-Events weite Wege in Kauf. Die Initiative Sozialwissenschaftliche Mobilitätsforschung spricht der Individualisierung in der heutigen Gesellschaft eine große Bedeutung zu und sieht in ihr einen der Gründe für die hohe Attraktivität des privaten Pkw. Demnach lassen sich mit Hilfe des Autos bestimmte Lebensstile überhaupt erst verwirklichen (TU Chemnitz 2010). Die Individualisierung der Gesellschaft ist also eng verknüpft mit der Automobilisierung derselben (Canzler et al. 2004). Es ist anzunehmen, dass durch einen anhaltenden gesellschaftlichen Individualisierungsprozess in der EU auch die Nachfrage nach individuellen Verkehrsmitteln anhält (Dettner, Götz 2010).

Die heutigen Mobilitätsmuster haben sich zusammen mit den entsprechenden Technik-Infrastrukturen entwickelt. Neben den technischen Voraussetzungen ist das Mobilitätsverhalten von vielen weiteren Parametern abhängig, ökonomische Faktoren spielen ebenso eine wichtige Rolle wie persönliche Einstellungen und Präferenzen. Wie kein anderes Verkehrsmittel fungiert das Auto vielfach auch als Statussymbol. Die Mobilitätsmuster sind nicht starr, sondern haben sich im Lauf der Zeit immer verändert, so kann davon ausgegangen werden, dass sich diese auch in der Zukunft verändern werden, was für die Akzeptanz, Ausgestaltung und Marktdurchdringung der Elektromobilität relevant sein könnte.

Verändert sich beispielsweise die demographische Zusammensetzung einer Gesellschaft, hat dies Auswirkungen auf die Mobilitätsansprüche (qualitativ und quantitativ) derselben und damit auch auf die Verkehrsmittel, die zur Erfüllung dieser geeignet und nachgefragt sind. Für Europa wird mit einem stark ansteigenden Anteil der Über-65-Jährigen ausgegangen, der laut Eurostat bis 2060 auf 30 % ansteigen wird. Auch die Anzahl der Über-80-Jährigen wird sich bis 2060 nahezu verdreifachen (Giannakouris 2008). Gleichzeitig werden die Senioren mobiler (mehr Wege pro Tag zurücklegen) und besitzen häufiger und bis ins hohe Alter hinein einen Führerschein (BMVBS, infas, DLR 2009). Es wird davon ausgegangen, dass die Nachfrage nach individueller Mobilität im Alter ansteigt, sich gleichzeitig jedoch die finanzielle Situation der Senioren eher verschlechtern wird (Fiedler 2007). Denkbar wäre, dass die in Kapitel 3.2.2 dargestellten Geschäftsmodelle Senioren insofern entgegen kämen, dass zwar ein Auto nutzbar wäre, dessen Pflegen und Wartung aber nicht übernommen werden muss. Weiter könnte man argumentieren, dass die Mobilitätsmuster von Rentnern flexibler sein können als die von Berufstätigen, die vielleicht noch Kinder im Haus haben, wodurch die mit einer BEV-Nutzung einhergehenden Einschränkungen bei Reichweite und Ladezeit weniger ins Gewicht fallen würden. Auch die Möglichkeit das Elektromobil zu Hause zu „betan-

ken“, dürfte der Gruppe der Senioren entgegenkommen, eben wegen der oft höheren Flexibilität bei der Planung ihrer Fahrten.

Elektrofahrräder erfreuen sich einer immer größeren Beliebtheit, nicht nur in China wo bereits geschätzte 120 Millionen von ihnen auf den Straßen unterwegs sind (Goodman 2010). In den Niederlanden wurden 2009 ein Drittel der Ausgaben für Fahrräder in elektrisch betriebene Modelle investiert (ebd.), jedes zehnte verkaufte Fahrrad ist hier bereits ein Pedelec (Wüst 2009). Auch Deutschland, Frankreich und Italien werden insbesondere vor dem Hintergrund einer alternden Gesellschaft, als Wachstumsmärkte angesehen (Goodman 2010).

Zwei Trends sind zu verzeichnen, Pedelecs in Europa und den USA, sowie rein elektrisch betriebene Fahrräder, die stärker ausgelegt sind, ähnlich Motorrollern in China (ebd.). Die Verkaufszahlen von Pedelecs in Deutschland sind in den letzten Jahren stark angestiegen. Wurden 2005 rund 25.000 Stück verkauft, waren es 2008 schon viermal so viele (ADFC 2009) und 2010 200.000 Stück.³⁵ Obwohl sie damit bisher bei rund 4,3 Millionen verkauften Fahrrädern in Deutschland (für 2008) jährlich nur einen geringen Marktanteil haben, besitzen sie aufgrund ihres hohen Durchschnittspreises im Vergleich zu normalen Fahrrädern ein hohes Umsatzpotential (ADFC 2009) und sind für die Fahrradindustrie, auch weil sie mehr Wartungsserviceleistungen erfordern, ein attraktives neues Marktsegment.

So beliebt die oben erwähnten Elektrofahrräder auch sind, werfen sie doch aus juristischer Sicht Probleme auf. Gesetzgeber sind häufig unsicher, wie Elektrofahrräder behandelt werden sollen, viele empfinden sie als zu schnell und leistungsstark für Fahrradspuren und wiederum zu langsam für die Autofahrspur (Cherry 2007). Deshalb existieren heute viele verschiedene Regelungen hierzu. In China werden sie als Fahrräder behandelt und dürfen die Fahrradspuren benutzen (ebd.), andere Städte in Kanada hingegen erwägen aus Sicherheitsgründen ein Verbot von Elektrofahrrädern auf Fahrradwegen (ebd.). Ob Luftemissionen vermindert werden, hängt neben dem Strommix ganz entscheidend davon ab, welches Verkehrsmittel durch den Elektrofahrradgebrauch substituiert wird (ebd.).

Nicht nur bei den Senioren, auch bei Jugendlichen deutet sich an, dass sich die Einstellung zur Mobilität und damit auch die Mobilitätsmuster von denen vorhergehender Generationen unterscheiden. So gibt es Anzeichen, dass sich pragmatischere Einstellungen zur Mobilität und Automobil entwickeln. Ergebnisse der aktuellen Studie „Jugend und Automobil 2010“ des FHDW Center of Automotive (2010) legen einen beginnenden Bedeutungswandel zumindest nahe. Nach ihr geht die emotionale Bindung an das Auto bei der Gruppe der 18- bis 25-Jährigen Deutschen zurück. 30 % der jungen Leute würden eher auf ein Auto anstatt auf teure Dinge wie Urlaub, eigene Wohnung oder Ähnliches verzichten. Die Jugendlichen sehen das Auto rationaler als Fortbewegungsmittel an, die Rolle des Statussymbols verliert an Bedeutung und wird auf das Internet und Handy verlagert. Obwohl die Zahl der jungen Menschen (20- bis 29-Jährigen) mit Führerscheinbesitz mit 75 % recht hoch ist, fahren 45 % nur selten mit dem Auto und 80 % sind gar der Meinung, dass in der Stadt wegen des ÖPNV gar kein Auto notwendig ist, so Ergebnisse der aktuellen Jugendtrendstudie „Timescout“ (Rieckmann 2010). Ergebnisse einer von Fraunhofer IAO und PwC (2010) durchgeführten Umfrage unter 503 potentiellen Nutzern der „Elektromobilität“ identifizieren ebenfalls, die in urbanen Räumen wohnenden Unter-30-Jährigen als die Gruppe mit der niedrigsten Affinität zur Nutzung der privaten Pkw. Die jungen Großstandbewohner wechseln am häufigsten zwischen verschiedenen Mobilitätsangeboten und, so wird vermutet, scheinen am ehesten bereit zu sein, sich mit neuen Mobilitätskonzepten auseinander zu setzen.

Als Zwischenfazit lässt sich somit sagen, dass Elektrofahrzeuge in Zukunft ein wichtiger Baustein einer multimodalen Mobilität sein könnten, bei der die monomodale Nutzung eines konventionellen Autos von einer Form der Mobilität abgelöst wird, die verschiedene, möglichst gut aufeinander abgestimmte Ver-

³⁵ Zweirad-Industrie-Verband (ZIV), 25.03.2010

kehrsmittel miteinander kombiniert und vor allem die Überbrückung der „last mile“ für den Nutzer individuell, flexibel und schnell ermöglichen könnte.

Vor diesem Hintergrund lassen sich in den zahlreichen Studien zur zukünftigen Entwicklung der Elektromobilität zwei grundsätzliche Erwartungshaltungen ausmachen:

- Manche Argumentationen gehen davon aus, dass elektrische Fahrzeuge die bisherigen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ersetzen müssen, ohne dass sich die bisherigen Mobilitätsmuster wesentlich verändern. Das bedeutet, dass die elektrisch betriebenen Fahrzeuge in punkto Kosten, Reichweite und Ladezeit in Bereiche kommen müssen, die mit den bisherigen Fahrzeugen vergleichbar sind. Individuelle Mobilität würde demnach auch weiterhin durch individuellen Autobesitz geprägt. Vielen Experten sind laut einer Studie (Fraunhofer, PwC 2010) allerdings der Meinung, dass Elektroautos aus technologischen Gründen selbst in zehn Jahren noch nicht das Niveau herkömmlicher Autos erreichen – zumindest in Bezug auf Reichweite und die Gesamtkosten.
- Andere Argumentationen führen an, dass sich Mobilitätsmuster und Präferenzen immer im Wechselspiel mit den technologischen Entwicklungen verändert haben; demnach wäre davon auszugehen, dass sich auch in Zukunft die Mobilitätsmuster zumindest bis zu einem gewissen Grad den technischen Settings anpassen werden. Dazu gehört auch, dass sich die enge Bindung zwischen Autobesitz und individueller Mobilität etwas auflösen könnte. In vielen Argumentationen spielen dabei Geschäftsmodelle wie Car-Sharing oder das Leasen von Autobatterien eine zentrale Rolle.

Die beiden Optionen schließen sich keineswegs aus; bereits heute gibt es Mobilität ohne Autobesitz und Car-Sharing hat einen zwar kleinen, aber stetig wachsenden Marktanteil. Bei den genannten Perspektiven handelt es sich somit eher um zwei Extrempunkte zwischen denen sich ein Kontinuum aufspannt. In vielen Studien werden die Mobilitätsmuster mittlerweile nicht als starr und unflexibel betrachtet, sondern bis zu einem gewissen Grad flexibel. Oft wird den Geschäftsmodellen dabei große Bedeutung beigemessen. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die im Zusammenhang mit der Elektromobilität diskutierten Geschäftsmodelle.

3.2.2 Geschäftsmodelle/ Nutzungskonzepte

Bereits im vorhergehenden Kapitel wurde mehrfach auf die Bedeutung neuer Geschäftsmodelle für die Entwicklung der Elektromobilität eingegangen. In vielen Studien³⁶ werden solche Geschäftsmodelle diskutiert, da sie die Möglichkeiten eröffnen, die technischen Nachteile gegenüber herkömmlichen Kraftfahrzeugen, zumindest teilweise auszugleichen. Oft stehen dabei Alternativen zum Autokauf und Besitz im Vordergrund womit den hohen Anschaffungskosten oder der begrenzten Haltbarkeit der Batterien entgegen gewirkt werden kann.

Verschiedene Ansätze für Geschäftsmodelle lassen sich beobachten. Häufig spielt die Akteurskonstellation eine wichtige Rolle. Heutige Pilotprojekte zur Elektromobilität setzen sich in der Regel aus mehreren Akteuren zusammen wie Automobilherstellern, Energieversorgern, dem Staat und weiteren Technologiepartnern. Um solche Pilotprojekte in Richtung Kommerzialisierung weiter zu entwickeln, müssen aus ihnen heraus profitable, langfristige Geschäftsmodelle entstehen (RolandBerger 2009). Unterschiedliche Organisationsmodelle sind dabei denkbar: Ein Partner, zumeist ein OEM stellt das Auto bereit, ein anderer ist für die Infrastruktur zuständig. Ein Beispiel wäre das E-Mobility Projekt von Daimler und RWE in Berlin. Andere Modelle bestehen nur aus einem OEM, der sich auf die Produktion der Fahrzeuge konzentriert und keine eigene spezielle Ladeinfrastruktur zur Verfügung stellt. Wieder andere Ansätze wie „Better Place“

³⁶ Vgl. z.B. Fraunhofer, PwC 2010; Marwede, Knoll 2010

(s.u.) stellen vor allem die Infrastruktur bereit und legen hier ihren Schwerpunkt, das Auto ist weniger von Bedeutung und wird von einem Partner zur Verfügung gestellt.

Die Installation von Ladestationen und deren Finanzierung allein über die Stromkosten erscheint schwierig. Hierfür werden Investitionen von 1.000 € bis 7.000 € plus Wartungskosten von 150 € im Jahr angesetzt (Wietschel 2009). Bei täglich fünf zu ladenden Fahrzeugen mit je 12 kWh und 0,20 €/kWh entspräche das einem Umsatz von etwa 4.400 €/Jahr (Marwede, Knoll 2010). Bei Berücksichtigung der Stromgestehungskosten lassen sich Investition und Betrieb also nur langfristig finanzieren, und dies in einem durch zukünftige Technologieentwicklungen und bisher nicht definierende Standards noch nicht gefestigtem Marktumfeld. Dementsprechend stellen beispielsweise die Stadtwerke Düsseldorf Ladestationen nur dann auf, wenn sie von der öffentlichen Hand gefördert werden; aus dem Verkauf des Stroms wären sie nicht finanzierbar.³⁷

Vielen Ansätzen ist gemein, dass der Verbraucher das Auto oder zumindest die Batterie nicht mehr kauft und besitzt, sondern vornehmlich nutzt und für diese Nutzung bezahlt. Eine Möglichkeit, die hohen Anschaffungskosten von Elektroautos für den Endnutzer zu umgehen, ist z.B. konventionelles Leasing, mit dem kompletten Elektroauto als Leasingobjekt. So wird der neue vollelektrische iON von Peugeot ab Ende 2010 für rund 500 Euro pro Monat auf den deutschen Markt kommen (Peugeot 2010). Im Folgenden werden einige Geschäftsmodelle skizziert, die in der Literatur häufig Erwähnung finden und teilweise bereits in der Praxis umgesetzt werden.

Car-Sharing und Elektromobilität

Ein Geschäftsmodell, welches auf den Bereich der Elektromobilität ausgedehnt werden könnte und zumindest ansatzweise auch schon wird, ist das Car-Sharing. Car-Sharing bezeichnet die gemeinschaftliche Nutzung von Autos, welche heute professionell von Car-Sharing-Organisationen organisiert und angeboten wird. Die Fahrzeuge werden dabei, oft auf speziell angemieteten Parkplätzen, über eine gewisse Gegend an strategisch wichtigen Knotenpunkten wie Bahnhöfen, Straßenbahn- und Bushaltestellen verteilt. In der „klassischen“ Form des Car-Sharings buchen die Kunden die Fahrzeuge vorab und nutzen sie dann für einen festgelegten Zeitraum. Die Kosten setzen sich aus den gefahrenen Kilometern und der gebuchten Zeit zusammen, zudem fällt eine monatliche Grundgebühr von meist wenigen Euro an.

Car-Sharing versteht sich als Teil einer kombinierten Mobilität und ist eher für unregelmäßige Fahrten geeignet, als für regelmäßige Pendelfahrten. Autobesitzer ist die Car-Sharing-Organisation, auch Wartung und Reparaturen werden von ihr normalerweise durchgeführt. Ca. 160.000 Kunden nutzen diese klassische Form des Car-Sharings mittlerweile in Deutschland, bei stetigen und meist zweistelligen Wachstumsraten über die letzten 15 bis 20 Jahre.³⁸ Deutschland ist bereits heute mit insgesamt 270 Städten, in denen Car-Sharing angeboten wird, der größte Car-Sharing Markt Europas (Frost, Sullivan 2010). Nach einer Studie von Frost & Sullivan (2010) wird Car-Sharing in Europa weiter wachsen, die Unternehmensberatung geht von etwa 5,5 Millionen Nutzern europaweit bis 2016 aus, andere Schätzungen liegen niedriger (BCS 2010). Neuere Konzepte experimentieren mit frei zu wählenden Rückgabezeiten „open-end“, der Möglichkeit, das Fahrzeug nicht an seinen Ursprungsort zurückbringen zu müssen (one-way option), sowie mit der Möglichkeit das Fahrzeug ohne aufwändige Vorbuchung sozusagen spontan nutzen zu können (Instant Access option) (Loose, Mohr, Nobis 2004).

Car-Sharing bietet im Gegensatz zum privaten Autobesitz im Hinblick auf Elektromobilität einige Vorteile bzw. die prinzipiellen positiven Effekte des Car-Sharings kommen in diesem Kontext besonders gut zur

³⁷ persönliche Mitteilung Dr. Susanne Stark, Stadtwerke Düsseldorf AG, Leiterin Energiewirtschaftliche Projekte, Projektleiterin Elektromobilität

³⁸ Vgl. <http://www.carsharing.de>

Geltung. Diese Vorteile sind die Verteilung der Fixkosten (Kfz-Steuer, Versicherungen, Wartung und Reparatur sowie Wertverlust) auf mehrere Schultern, welche insbesondere unter dem Aspekt des hohen Wertverlustes von Elektroautobatterien besonders interessant werden könnte (ADAC Motorwelt 2010). Auch die flexible, an den Bedarf angepasste Fahrzeugwahl und die damit verbundene Auswahl des erforderlichen Motorisierungsgrades (ICE, HEV, BEV) kommt der Elektromobilität zu Gute. Werden nur geringe Reichweiten für Unternehmungen innerhalb der Stadt beispielsweise benötigt, kann sich der Kunde ein Elektroauto nehmen, für den Urlaub hingegen kann er auf ein Auto mit Range Extender oder konventionellem Verbrennungsmotor zurückgreifen. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Erneuerungsquote des Fahrzeugpools, welche den Einsatz neuer, verbrauchsarmer Technologien generell begünstigt (Wilke 2002). Die Tatsache, dass viele Car-Sharing-Organisationen bereits eigene Infrastruktur (z.B. Schlüsseltresore) in Betrieb haben und speziell für ihre Autos angemietete Parkplätze unterhalten, dürfte eine konzentrierte und bedarfsgerechte Bereitstellung von Ladeinfrastruktur für BEVs begünstigen. Zu diesen technischen Vorteilen kommt, dass viele Car-Sharing-Nutzer ein hohes Umweltbewusstsein besitzen.

Aus all diesen Gründen erscheint eine verstärkte Integration von BEVs in Car-Sharing-Flotten sinnvoll, und ist laut Frost & Sullivan (2010) auch zu erwarten. Sicherlich sehr „optimistische“ Schätzungen von Frost & Sullivan (2010) gehen für Europa davon aus, dass 2012 jeder dritte Neuwagen eines Car-Sharing-Fuhrparks ein BEV sein wird und damit 20 % aller Car-Sharing-Autos batteriebetrieben sein würden. Letztlich darf aber nicht übersehen werden, dass auch die Car-Sharing-Anbieter auf eine wirtschaftliche Beschaffung ihrer Fahrzeuge achten müssen. Auch wenn sich BEV ins Betriebskonzept sehr gut einfügen lassen, bleiben die hohen Anschaffungskosten eine Hürde.

Vieles spricht dafür, dass zukünftig zumindest einige BEV in die Car-Sharing-Flotten integriert werden. So könnte Car-Sharing dazu beitragen die Markteinführung und Durchdringung von BEV zu beschleunigen und den Kunden Alternativen zum Kauf eines eigenen BEV bieten. Nicht zu vernachlässigen ist der Demonstrationseffekt den Elektroautos im Car-Sharing-Betrieb sowohl nach außen auf Passanten als auch für die Fahrer selbst haben. Für viele Menschen in Deutschland dürfte dies heute, neben den seit kurzem existierenden Angeboten von Autovermietungen (z.B. Sixt, siehe unten) oder Teilnahme an Pilotprojekten, die einzige Möglichkeit sein auf günstige und organisatorisch einfache Weise einmal selbst ein Elektroauto Probe zu fahren. Beispiele zeigen (siehe Kasten), dass Car-Sharing inzwischen auch von etablierten Automobilherstellern angeboten wird, die damit einen Schritt in Richtung Mobilitätsdienstleister gehen.

Beispiele für Car-Sharing (und ähnliche Ansätze)

Autolib: In Paris ist ab September 2011 das wahrscheinlich größte Car-Sharing-Projekt mit Elektroautos geplant, welches sich „Autolib“ nennt (Hopkins 2010). Der Plan sieht vor 3.000 Elektroautos an Parkstationen in Paris und der näheren Umgebung aufzustellen und für ca. 5 € pro 30 min Nutzungsdauer zu vermieten mit einem monatlichen Grundbeitrag von 15 €. Mehrere Autobauer für die Flotte sind im Gespräch, darunter auch Renault (ebd.). Das Programm ist sehr ähnlich aufgebaut wie das Elektrofahrradprogramm von Paris namens „Vélib“. Kunden können ohne Reservierung ein Auto von einem beliebigen Standort nehmen und es an einem anderen wieder abstellen. Das Programm ist also mit Instant Access und one-way Option ausgelegt. Es gibt Befürchtungen, dass es zu Vandalismus und Diebstählen insbesondere der teuren Batterien kommen könnte, da man im Velib Programm schlechte Erfahrungen mit gestohlenen oder beschädigten Fahrrädern machen musste (ebd.).

Car2Go und Mu by Peugeot: Zwei Beispiele in denen Autohersteller mit der Rolle als Mobilitätsdienstleister experimentieren sind „Car2Go“ in Ulm und „Mu by Peugeot“ in Berlin. Car2Go ist ein 2009 von Daimler in Ulm und Neu-Ulm initiiertes Car-Sharing-Projekt mit 200 Smarts, die ohne Vorbuchung (Instant Access), open-end und one-way allen registrierten Nutzern zur Verfügung stehen. Interessant an dem Modell sind die einfache Handhabung, das Wegfallen von Kautions- oder Monatsgebühren, das sehr simple Tarifmodell und der einfach gehaltene Zugang. Bisher steht nur ein Fahrzeugtyp zur Verfügung (N24 2010). Das Projekt wird sehr gut angenommen und wurde 2010 nach einem

Jahr Laufzeit um zusätzliche 100 Smarts erweitert (Gebhardt 2010). Etwa zwei Drittel der Car2go-Nutzer sind jünger als 30 Jahre (Fraunhofer, PwC 2010). Der Einsatz von Elektrofahrzeugen ist laut Aussage des Projektleiters Robert Henrich für die nächsten 2 bis 3 Jahre aus Kostengründen jedoch nicht geplant (N24 2010). Das Konzept soll auf Hamburg übertragen werden. Peugeot startete das Projekt „Mu by Peugeot“ in Berlin. Das Projekt umfasst eine breitere Angebotspalette, welche nicht nur aus Autos sondern auch Rollern, Elektrofahrrädern, Fahrrädern und Zubehör wie Dachgepäckträgern, Kindersitzen etc. besteht. Der große Unterschied zu Car2Go besteht darin, dass die Fahrzeuge nur an vier Filialen von Peugeot ausgegeben werden und dorthin auch wieder zurückgebracht werden müssen. Die Nutzung ist für registrierte Kunden günstiger, kann aber auch von nicht registrierten Kunden erfolgen (Blumenstein 2010). Bezahlt wird ähnlich dem Pre-Paid-Konzept des Handys mit so genannten Mobilitätspunkten, welche man sich auf sein Konto lädt. Im Gegensatz zum Ulmer Konzept, bei dem das Auto von Servicearbeitern zwischen den Vermietungen aufgetankt wird, oder der Kunde eine Vergünstigung bekommt, wenn er dies selbst tut, muss der Kunde bei Peugeot den Akku der E-Bikes und den Tank des Autos vor der Rückgabe aufladen bzw. auffüllen. Peugeot hat angekündigt ab Winter 2010 einige seiner iOn-Modelle in die Flotte mit aufzunehmen, und damit Elektroautos in das Programm zu integrieren (ebd.).

Better Place

Das wohl bekannteste derzeitige Geschäftsmodell im Bereich der Elektromobilität ist „Better Place“. Dies ist der Name einer 2007 von Ex SAP Manager Shai Agassi gegründeten Firma, deren Ziel es ist eine flächendeckende Infrastruktur für Elektroautos aufzubauen.³⁹ Die Autos kommen vom Partner Renault-Nissan, der hierfür Serienmodelle wie den Renault Mégane und Nissan Quashgai elektrifiziert hat (Laufmann 2009).

Gestartet in Israel, hat die Firma mittlerweile mit Dänemark, Japan, Australien, einigen Städten in den USA (inklusive San Francisco) und Hawaii Verträge zum Aufbau der Infrastruktur unterzeichnet (Anderson, Mathews, Rask 2009). Das Unternehmen verkauft in erster Linie keine Autos, sondern Mobilität und orientiert sich hierfür am Konzept von Mobilfunkverträgen. Der Kunde kauft ein Strom- und Batterieabonnement, wie beim Handy gibt es das Nutzergerät, das Auto, gratis oder verbilligt unter der Bedingung, dass ein mehrjähriger Vertrag abgeschlossen wird, dazu (Hillenbrand 2008). Die Idee ist, dass verschiedene Tarifmodelle zur Wahl stehen: Flatrates für Vielfahrer oder kilometergenaue Abrechnung für Gelegenheitsfahrer. Jeder Kunde soll Zugriff auf 2,5 Ladestationen haben, eine bei ihm zu Hause, eine am Arbeitsplatz, die übrigen 0,5 Ladestationen wie herkömmliche Tankstellen verteilt, um eine möglichst vollständige Versorgung zu gewährleisten (Anderson, Mathews, Rask 2009; Laufmann 2009). Für Israel sind 500.000 Ladestationen geplant, womit jeder sechste Parkplatz elektrifiziert wäre (Laufmann 2009).

Ein Schlüsselement des Projektes ist die getrennte Betrachtung von Batterie und Auto. Wird die Batterie als herausnehmbare Einheit realisiert, lassen sich einige grundlegende Probleme angehen. Erstens, die Reichweite kann durch einen Batterietausch kurzfristig verlängert werden, zweitens, die teure Batterie muss nicht mehr vom Kunden gekauft, sondern kann geleast werden, drittens: sobald neue, leistungsfähigere Batterien auf den Markt kommen, können – Batteriestandards vorausgesetzt – auch Kunden mit älteren Elektrofahrzeugen hiervon profitieren (Agassi 2009).

Gesteuert wird das Ganze über eine intelligente Elektronik, die im Auto lokalisiert ist. Die Ladesäulen selbst werden aus Kostengründen möglichst simpel gehalten (ebd.). Die Software teilt dem Nutzer mit, wie viel Energie noch in der Batterie ist, wie viele Kilometer noch gefahren werden können, wo sich die nächste Ladestation befindet und sogar, ob diese gerade belegt oder frei ist (Laufmann 2009). Die Identifizierung des Fahrzeugs und die Abrechnung erfolgen automatisch per Software und Funkchip (Hillenbrand 2008).

³⁹ http://de.wikipedia.org/wiki/Better_Place; <http://www.betterplace.com>

Auch an den worst case ist gedacht worden: sollte der Wagen doch einmal komplett ohne Strom liegen bleiben, kommt ein Servicetechniker, welcher die Batterie wieder notdürftig auflädt (Laufmann 2009).

Neben der Aufladung an der Steckdose ist auch die Möglichkeit des Batteriewechsels (vgl. Kapitel 3.1.5) vorgesehen, um die Mobilitätsbedürfnisse von Über-Landfahrern/ Fernfahrern zu befriedigen (Anderson, Mathews, Rask 2009). Wird diese Infrastruktur realisiert, träte das Elektroauto aus seiner Rolle als reines Stadttauto heraus und würde eine stärkere Konkurrenz zum reinen Verbrennungsauto. Die Herausforderungen vor denen Better Place steht, sind vielfältig, Regierungen müssen überzeugt, Automobilhersteller für eine Standardisierung gewonnen und Kunden an das neue Nutzungsmodell mit der Bindung an einen Mobilitätsprovider gewöhnt werden. Für Dänemark, Israel und Australien ist der Markteintritt für Ende 2011 geplant. Kürzlich kündigte Better Place an, den Betrieb von BEV-Taxis in der Region San Francisco aufzubauen, mit Batteriewechselstationen als zentralem Baustein.⁴⁰ Dabei sollten eine hohe Sichtbarkeit und der Nachweis der routinemäßigen Einsetzbarkeit über Kurzstrecken hinaus dem Image von BEV zuträglich sein.

Urban Commuter

Ein weiteres Mobilitätskonzept mit Elektrofahrzeugen, welches das „Problem der Reichweite“ angeht, wurde 2009 von der Schweizer Firma Rinspeed vorgestellt. Es handelt sich um einen elektrischen Zweisitzer, der als Pendlerfahrzeug gedacht ist, deshalb der Name des Projekts: „Urban Commuter“ (Rinspeed 2010). Das Auto soll per speziellem Waggon-System auf einen Eisenbahn-Zug verfrachtet und dort geladen werden können, womit längere Strecken bequem, stau- und stressfrei überbrückbar würden. Eine Verzahnung von individueller Mobilität und dem öffentlichen Verkehr soll gelingen, Buchung und Platzreservierung für die Spezialwaggons soll aus dem Fahrzeug heraus online erfolgen können. Die Erfinder betonen den Komfortfaktor von ihrem Konzept, da es dem Fahrer während der Zugreise möglich wäre, sich entweder im Zug aufzuhalten oder im Auto, welches mit Videokonferenz, E-Mail und vielem mehr ausgestattet sein soll. Neben der Fahrzeugvariante für den Pendler ist auch ein spezielles Kurierfahrzeug genannt „Unlimited Commuter“ geplant.

Autovermietung

Auch Autovermietungen beginnen die Elektromobilität für sich zu entdecken. Seit Mai 2009 bietet Sixt in Partnerschaft mit RWE in Deutschland an wechselnden Standorten verschiedene Elektrofahrzeuge (Karabag 500 E und Micro-Vett Fiorino E) in einem Pilotprojekt zur Vermietung an (Keilerman 2010). RWE stellt dabei die Ladesäulen zur Verfügung. Weitere Anbieter haben angekündigt in Zukunft auch Elektrofahrzeuge in ihr Angebot zu integrieren, beispielsweise Hertz mit dem Nissan Leaf oder Avis mit verschiedenen Renault Z.E. Fahrzeugen ab 2011 (Baumann 2010; Avis & Renault 2010).

Noch sind viele, der eben vorgestellten Geschäftsmodelle Nischenprodukte oder nicht in Deutschland verfügbar (Better Place, Urban Commuter). Welche Geschäftsmodelle sich durchsetzen werden, hängt neben der Entwicklung von Technik und Preis der BEV, sicherlich auch davon ab, ob sich die Mobilitätsmuster verändern werden, oder nicht. BEV haben heutzutage eindeutig eine eingeschränktere und unflexiblere Nutzbarkeit als „normale“ Autos. Wird diese Tatsache aber von den Nutzern als Nachteil wahrgenommen oder kann im Gegenteil sogar die Entstehung einer neuen Mobilitätskultur begünstigen, in der das BEV nach und nach immer mehr das konventionelle Fahrzeug verdrängt und Fahrten auf andere Verkehrsträger verlagert werden oder sogar entfallen? Die heutige Vorstellung von Mobilität ist stark vom Auto und den Optionen, welche es eröffnet, geprägt.⁴¹

⁴⁰ <http://www.betterplace.com>

⁴¹ Georg Wilke in (Wissenschaft im Dialog o.J.)

Selbst wenn es gelingt, Car-Sharing und den öffentlichen Verkehr flexibler und komfortabler zu gestalten bleibt die symbolische Besetzung des Automobils, die über dessen Funktion als Statussymbol hinausgeht.⁴² Dazu gehört auch die hohe Bedeutung, die gerade deutsche Autonutzer (vgl. RolandBerger 2010), dem Besitz eines eigenen Autos zuweisen. Die Frage ist, ob und wann sich diese Rolle des eigenen Autos ändern wird. Wie oben erwähnt (Kapitel 3.2.1), scheint sich bei Jugendlichen eine pragmatischere Einstellung zur Mobilität zu entwickeln, bei der die symbolische Funktion des Autobesitzes an Bedeutung verliert. Nahe liegende Schlussfolgerung wäre, dass damit auch der Autobesitz weniger wichtig wird, und sich die Bereitschaft sich auf alternative Angebote einzulassen erhöht.

3.2.3 Sicherheit und Handhabung

Unter dem Aspekt der Sicherheit gibt es insbesondere bei der Batterie große Bedenken, sollte es zu einem Unfall oder Brand kommen. Der TÜV Süd beschreibt die Sicherheitsstandards für Lithium-Ionen-Batterien als lückenhaft und sieht erhöhten Handlungsbedarf in Sachen Normung von Crashtests und Prüfung (Härter 2009). So gebe es zwar Kriterien für Batterie-Crashtests hinsichtlich Brand- und Explosionsgefahr, toxische oder kanzerogene Stoffe seien jedoch nicht berücksichtigt. Des Weiteren werden Standards für den Verbau der Batterie gefordert und ein Heck-Crash für die Zulassung von Großserienfahrzeugen (die meisten Hersteller planen die Unterbringung der Batterie im Heck ein). Sie warnen vor den geringen Anforderungen, die an Kleinserienfahrzeuge gestellt werden und fordern internationale Sicherheitsstandards für alle Fahrzeuge.

Neben der Batteriesicherheit birgt die oftmals geringere Größe und das Gewicht, sowie die reduzierte Sicherheitsausstattung elektrischer Leichtfahrzeuge⁴³ (z.B. Twike, E-Scooter, Pedelecs usw.) ein Gefahrenpotential und schafft im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen ein Ungleichgewicht zwischen den Verkehrsteilnehmern, nicht unähnlich der Situation von Motorrädern. Benutzer von Leichtfahrzeugen berichten, dass sie sich ähnlich wie Fußgänger oder Radfahrer als relativ schwache Verkehrsteilnehmer empfinden (Knie et al. 1999). Die Begegnung von schweren Lkw und Elektrischen Leichtfahrzeugen auf ein und derselben Fahrspur wirft damit vergleichbare Fragen in punkto Sicherheit und Gesetzgebung auf, wie dies bei Elektrofahrrädern heute schon der Fall ist (siehe auch Box Kapitel 3.2.1 zu Elektrofahrrädern).

Neben den Sicherheitsrisiken im Auto wird auch das Thema Vandalismus in Bezug auf die öffentlichen Ladeeinrichtungen diskutiert. Da das Laden in der Öffentlichkeit im Normalfall nicht im Beisein des Fahrers stattfindet, eröffnen sich Möglichkeiten zur Beschädigung oder Manipulation von Stromquelle, der Verbindung zwischen Auto und derselben oder auch des Anschlusses am Auto selbst. Autohersteller und die Entwickler der Stromladeinfrastruktur scheinen das Thema im Blick zu haben, ob die bisherigen Konzepte sicher sind, die Entwickler alle Eventualitäten bedacht und entsprechende Vorkehrungen zum Schutz der Infrastruktur vor Sabotage und Zerstörung getroffen haben, wird aber erst die Zukunft zeigen.

Die technischen Veränderungen im Fahrzeug werden für die zukünftigen Nutzer das Erlernen neuer Bedienelemente und eine Anpassung des Fahrstils erfordern. Elektromotoren reagieren empfindlicher auf hochtouriges Fahren (VCÖ-Forschungsinstitut 2009) und die volle Beschleunigung steht bereits aus dem Stand heraus zur Verfügung. Nach einer kurzen Umstellphase werden diese Neuerungen vergleichbar der Umstellung zwischen Schalt- und Automatikgetriebe gut beherrschbar sein. Etwas anders sieht es mit der Umstellung des heutigen Tankvorgangs auf die Nachladung der Batterien per Kabel aus. Vergisst man abends das Kabel einzustecken oder kommt der Kontakt nicht richtig zustande kann dieser „Fehler“ nicht so schnell behoben werden.

⁴² Georg Wilke in (Wissenschaft im Dialog o.J.)

⁴³ Definiert als Fahrzeuge mit einer Leermasse < 350 kg und einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h

Unter dem Gesichtspunkt der Handhabung ist zudem relevant, dass sich zwei grundsätzlich unterschiedliche Konzepte für die Ausgestaltung von Elektrofahrzeugen beobachten lassen. Zum einen die Fahrzeugkonzepte, die versuchen konventionelle Fahrzeuge weitgehend nachzubilden, zum anderen Konzepte, die sich äußerlich bewusst absetzen, meist extrem leicht und auch kleiner sind (Zweisitzer, Dreiräder...) und per se oftmals anderen Ansprüchen in punkto Komfort, Geschwindigkeit und Sicherheit genügen und dies auch so wollen (Knie et al. 1999). Wie Nutzer ihr Gefährt bewerten, hängt ganz entscheidend damit zusammen, welche „Fahrzeugphilosophie“ sie vertreten. Sehen sie das Elektrofahrzeug als konventionelles Auto an, welches „nur“ einen anderen Antrieb hat, oder gestehen sie ihm eine neue, eigene Identität zu und ziehen keinen direkten Vergleich zu den Leistungsmerkmalen der konventionellen Verbrennungsfahrzeuge. Neben dem schon erwähnten Aspekt des veränderten Fahrverhaltens ist vor allem die andere Wahrnehmung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ein Bereich, der Sicherheitsfragen aufwirft.

Hybrid- und Elektrofahrzeuge sind im Stand und bei niedrigen Geschwindigkeiten bis auf das Rollgeräusch praktisch lautlos. Diese Geräuscharmheit birgt Gefahren für den Fahrer (reduziertes Motorengeräusch verfälscht die Einschätzung wie schnell man selbst fährt, generell veränderte akustische Rückmeldung) und andere Verkehrsteilnehmer. Spielende Kinder können das Fahrzeug nicht wie gewohnt wahrnehmen und auch Fußgänger oder Radfahrer werden, wenn sie sich auf ihr Gehör verlassen, später von dessen Anwesenheit erfahren. Insbesondere für Blinde und Sehbehinderte, ältere Menschen, Kinder und unachtsame Fußgänger bestehen Sicherheitsbedenken. Mit der Tendenz zu immer leiser werdenden konventionellen Fahrzeugen kann sich diese Problematik auch auf die Fahrzeuggruppe der Verbrennungsfahrzeuge und Mopeds übertragen. Implikationen ergeben sich für die Verkehrserziehung von Kindern, aber auch für die Konditionierung der Gesellschaft insgesamt auf das „Verbrennergeräusch“ als akustisch wichtiges Signal zur Gefahrenerkennung im Straßenverkehr.

Die Frage, ob Hybrid- und Elektroautos tatsächlich ein erhöhtes Sicherheitsrisiko für andere Verkehrsteilnehmer darstellen, versucht ein Bericht der USA National Highway Traffic Safety Administration zu beantworten. Er kommt zu dem Schluss, dass Hybrid- und Elektroautos fast zweimal häufiger in Unfälle mit Radfahrern oder Fußgängern verwickelt sind als konventionelle Fahrzeuge (Thomas 2009). Untersucht wurden Eintrittswahrscheinlichkeiten von Fahrrad- und Fußgängerunfällen in Situationen mit niedrigen Geschwindigkeiten (Refaat 2009). Auch eine Studie der University of California (Robart, Rosenblum 2009) kommt zu dem Schluss, dass ein erheblicher Unterschied zwischen Autos mit Elektroantrieb und Verbrennungsmotor in punkto Hörbarkeit im Straßenverkehr besteht. In ihrer Studie konnte insbesondere die Richtung, aus der die Autos im Elektrobetrieb an die Testpersonen herankamen im Vergleich zu konventionellen Autos deutlich später wahrgenommen werden. Ein Ansatz, dass mit der Geräuscharmheit einhergehende Sicherheitsrisiko zu verringern, ist der Einsatz von künstlich hinzugefügten Geräuschen für Hybride und reine Elektroautos. Als notwendig erachtet wird dies nur unterhalb einer gewissen Geschwindigkeit von 20 km/h, andere Quellen gehen von 32 bis 40 km/h (u.a. Rosenblum 2008) aus. Oberhalb derselben werden Elektroautos wie konventionelle Fahrzeuge durch Nebengeräusche wie das Rollgeräusch oder den Fahrtwind deutlich wahrgenommen. An der Ausgestaltung des allgemein vorgeschlagenen Lösungsweges, die Sicherheit durch künstlich hinzugefügte Geräusche zu erhöhen, wird bereits von Autoherstellern (PSA Peugeot Citroen, Renault (Pearson 2010), Nissan, Toyota (Autoheise 2010)) und Forschern (Nyeste, Wogalter 2008) gearbeitet. Im neuen Nissan Leaf wird es einen eingebauten Sound, den sog. „Approaching Vehicle Sound for Pedestrians“ geben, welcher unterschiedliche Geräusche für Vorwärts- und Rückwärtsfahren aussendet (Motavalli 2010). Kritik kommt von der „National Federation of the Blind“ in den USA, da es dem Fahrer überlassen wird, das Geräusch ein- oder auszuschalten (ebd.).

Als Reaktion auf die geäußerten Sicherheitsbedenken, diskutieren verschiedene Länder auch über Gesetze und Richtlinien, um Elektroautos und Hybride für andere Verkehrsteilnehmer besser wahrnehmbar zu machen. Für die EU berichtet die Sunday Times, dass ein entsprechendes Gesetz bis 2012 geplant ist (Webster 2010). Die europäische Wirtschaftskommission (UN/ ECE) arbeitet an Richtlinien für Geräusch-

Minimalstandards in diesem Zusammenhang (Europäische Commission 2010; Pearson 2010). In den USA ist ein Gesetz in Arbeit, welches einen minimalen Geräuschpegel vorschreibt und in der „broader vehicle safety legislation“ untergebracht sein wird (Pearson 2010).

Insgesamt gibt es ein Dilemma zwischen den gesellschaftlich gewünschten Lärmreduzierungsmöglichkeiten, die das Elektroauto potentiell bietet, und den Gefahren, die mit dieser Lautlosigkeit einhergehen können.

Als letzter Aspekt zum Thema Sicherheit im Bereich der Elektromobilität soll der sensible Bereich des Datenschutzes erwähnt werden. Hier eröffnen sich, insbesondere auf Grund der Vernetzung von Fahrzeug, Stromabgabestelle und Netzbetreiber sowie eventuell dazwischen geschalteten Dienstleistern, Möglichkeiten, die Fülle von Informationen, welche ausgetauscht und gespeichert werden, auszuspionieren und nicht im Sinne des Nutzers zu verwenden. Um die Ausgestaltung des oft genannten „Internets der Energie“ datenschutzrechtlich und datengesichert zu gestalten, gibt es eine eigene Begleitforschung der Förderprojekte E-Energy und IKT für Elektromobilität (E-Energy 2010a).

3.2.4 Politische Rahmenbedingungen

Die Politik hat eine Vielzahl von Möglichkeiten die Elektromobilität zu fördern. Neben gesetzlichen Vorgaben zu CO₂-Emissionen sind dies Strafen, falls Grenzwerte nicht eingehalten werden, steuerliche Voroder Nachteile, die Förderung von Forschung und Entwicklung durch Forschungsprogramme, Besteuerung von Kraftstoffen, einmalige Subventionen beim Fahrzeugkauf und weitere Privilegien für Elektroautofahrer, wie spezielle Parkmöglichkeiten, vergünstigte Auflademöglichkeiten, Befreiung von City-Maut und die Erlaubnis besondere Fahrstreifen zu nutzen. Solche Anreizmaßnahmen und elektromobilitätsfreundliche Rahmenbedingungen könnten ein wichtiger Schritt sein, um sowohl die Akzeptanz von Elektromobilität in der Bevölkerung als auch die Marktdurchdringung zu erhöhen.

Die Europäische Union veröffentlichte am 23. April 2009 neue Emissionsnormen für Personenkraftwagen. Darin wurde festgelegt, den Grenzwert im gesamten deutschen Flottendurchschnitt bei Neuwagen bis 2012 auf 130 g CO₂/km zu senken (Umweltbundesamt 2009). Die Einführung erfolgt gestaffelt mit einer schrittweisen Erhöhung des Prozentsatzes der Neuwagenflotte, welche den Grenzwert einhalten muss, bis zum Jahre 2015. Festgelegt sind außerdem Strafzahlungen, welche, pro Gramm CO₂ über dem Grenzwert und pro verkauftes Auto, von den Autoherstellern zu entrichten sind. Kritisiert wird, dass die Strafzahlungen zu gering sind und nicht alle Fahrzeuge aus der Flotte in die Berechnung eingehen (ebd.).

Förderung von Forschung und Entwicklung

Das Thema Elektromobilität wird in Deutschland von Seiten des Bundes, insbesondere durch den „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“, angegangen. Gemeinsam mit dem Thema der Erneuerbaren Energien ist das Thema im „Integrierten Energie- und Klimaprogramm“ (IEKP) verankert und in den Ressorts des BMWi, BMVBS, BMU und BMBF untergebracht (Die Bundesregierung 2009). Der Nationale Entwicklungsplan ist auf zehn Jahre angelegt und soll den Rahmen für Forschung, Technologieentwicklung und die geplante Markteinführung von Plug-In-Hybriden und BEVs in Deutschland stecken.

Erste konkrete Ziele für die Marktdurchdringung der Elektromobilität wurden von der Bundesregierung 2007 im IEKP formuliert (Die Bundesregierung 2007). Zielvorgabe ist es, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge in Deutschland zu haben, deren Strombedarf durch Erneuerbare Energien gedeckt werden soll. Gleichzeitig soll die Elektromobilität zur besseren Integration der fluktuierenden EE beitragen, indem die Batterien in Fahrzeugen als Zwischenspeicher für Phasen, in denen die regenerative Stromproduktion den Bedarf übersteigt, zur Verfügung stehen (Die Bundesregierung 2008).

Deutschland möchte die starke Rolle seiner Automobilindustrie auch bei neuen Antriebstechnologien beibehalten und wenn möglich ausbauen. Von Seiten der Politik wird dies durch die Forderung: „Deutschland soll zum Leitmarkt für die Elektromobilität werden“ ausgedrückt (ebd.). Neben der reinen Technologieentwicklung sollen neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen entwickelt werden und eine Stadt- und Raumplanung im Kontext der Elektromobilität entstehen.

Zur Umsetzung der genannten Ziele werden verschiedene Fördermaßnahmen aus Mitteln des Konjunkturpaketes II finanziert. Neben dem schon erwähnten Förderschwerpunkt „Intelligente Netze, erneuerbare Energien und Elektromobilität“ mit dem Focus auf IKT ist dies vor allem das Förderprogramm „Modellregionen Elektromobilität“ des BMVBS. Hier werden insgesamt 8 Regionen in Deutschland von 2009 bis 2011 mit ca. 115 Millionen Euro vom Bund gefördert (BMVBS 2010). Im Vordergrund der Programme steht die praktische Umsetzung der Elektromobilität im Alltag unter realen Bedingungen.

Die Verknüpfung der Elektromobilität mit dem Energiebereich wird explizit im „E-Energy“ Förderprogramm des BMWi und BMU adressiert. In sechs ausgewählten Modellprojekten wird an einem „Internet der Energien“ gearbeitet. Mit Hilfe von IKT sollen intelligente Energiesysteme entwickelt werden, die Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit miteinander vereinbaren (E-Energy 2010b). Die Elektromobilität ist hier insofern wichtig, da sie als Möglichkeit zur Zwischenspeicherung von Energie angesehen wird (Sovacool, Hirsh 2009).

Neben den gerade erwähnten Maßnahmen zur Forschungs- und Entwicklungsförderung, sind viele weitere Anreize denkbar, welche die Marktdurchdringung von EVs beschleunigen könnten. Eine häufig genannte Forderung an die Politik ist es, steuerliche Vergünstigungen oder Subventionen für den Autokauf bereitzustellen.

Subventionen & Steuern

Viele Länder subventionieren bereits den Kauf von Elektrofahrzeugen. In Frankreich sind bis 2020 Kaufsubventionen von 5000 € pro Auto, eine kostenlose Zulassung des Autos und vergünstigte nächtliche Ladegebühren geplant (Bain & Company 2010). In Oslo werden nicht nur Kauf und Unterhalt vom Staat gefördert (Neuwagen- und Mehrwertsteuer entfallen, keine Kfz-Steuer); Elektroautos genießen auch anderweitige Privilegien im Alltag. Sie dürfen auf öffentlichen Parkplätzen kostenlos parken, sind von der City-Maut befreit und dürfen auf der Busspur fahren, was ihnen tägliche Staus im Berufsverkehr erspart (Krohn 2009). Einen Überblick über staatliche Förderung beim Kauf von Elektroautos weltweit gibt Bünnagel (2009).

In Deutschland sind Elektrofahrzeuge momentan für die ersten fünf Jahre nach Zulassung von der Kraftfahrzeugsteuer befreit, anschließend wird eine Besteuerung nach Fahrzeuggewicht vorgenommen. Andere Privilegien sind im Gespräch und werden sicherlich im Einzelfall in Pilotprojekten auch gewährt, sind aber nicht flächendeckend umgesetzt oder festgeschrieben.

Neben staatlicher Förderung auf Verbraucherseite kann der Staat auch selbst aktiv werden und durch den systematischen Einbau von Elektrofahrzeugen in die eigenen Fuhrparks ein Zeichen setzen, sowie zur Nachfrageförderung beitragen. Flottenfahrzeuge profitieren allgemein aufgrund ihrer relativ hohen Kilometerleistung von den niedrigeren Energiekosten oftmals stärker als private Pkw und haben daher, über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, trotz des vergleichsweise hohen Anschaffungspreises das Potential, früher rentabel zu werden (Kolloosche, Schulz-Montag, Steinmüller 2010).

Zur Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen im Flottenbetrieb berichtet Technomar in Auszügen aus einer Studie von Barkawi Management Consultants. In ihr wird der Flottenbetrieb von Elektrofahrzeugen im Kurierbetrieb simuliert (Erfolg! 2010). Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass eine anfängliche Kostenersparnis von 1417 € pro Jahr gegenüber einem Dieselfahrzeug existiert. Diese Kostenersparnis kann, auf-

addiert im Lauf der Jahre, eine Kaufpreisdifferenz von ungefähr 9500 € ausgleichen. Dadurch ist laut Aussage der Studie ein Betrieb zu identischen Kosten „ab einer Anschaffung im Jahr 2014/ 2015 mit dem gegebenen Lastprofil unter Berücksichtigung der Kaufpreisdifferenz möglich.“ Darin sind noch nicht potentielle Förderbeträge in der Anschaffung, komplette Kfz-Steuer-Befreiung und Vorteile aus dem CO₂-Emissionshandel berücksichtigt.

Nicht nur steuerliche Anreize und Kaufsubventionen sind im Gespräch, auch Belastungen, um die erwarteten Ausfälle der Mineralölsteuer zu kompensieren. Hierzu wird eine Art Strom- oder Ladestromsteuer diskutiert. Ob, in welcher Form und ab wann, diese kommen könnte, dazu gibt es bisher keine Aussage der Bundesregierung. Das Thema wird kontrovers diskutiert. Der bayerische Umweltminister Söder fordert beispielsweise in einem Strategiepapier zur Elektromobilität „eine vollständige und unbefristete“ Steuerbefreiung für Elektroautos und einen Erlass der Kfz-Steuer (dpa 2010). Auch das Deutsche Verkehrsforum (2009) spricht sich in seinem Positionspapier zur Elektromobilität ausdrücklich gegen eine zusätzliche Besteuerung für Ladestrom aus. Eventuelle Prämien als Kaufanreiz sieht es nur vorübergehend als sinnvoll an und plädiert für bessere Abschreibemöglichkeiten im gewerblichen Bereich. Eine deutsch-französische Arbeitsgruppe aus Verbänden, OEMs, Ministerien und Energiekonzernen spricht sich in ihrem Positionspapier „Results of discussions of the French-German working group on infrastructure“ vom Februar 2010 ebenfalls gegen eine Fahrstromsteuer aus (BMW 2009). Das Papier wendet sich zwar gegen eine Besteuerung des Stromes, behandelt aber gleichzeitig das Thema Internationales Roaming als Geschäftsmodell und sieht dieses als notwendig an. Damit würde den Energiekonzernen die Möglichkeit eröffnet, ähnlich wie im Mobilfunksektor, erhöhte Preise von Kunden, die von anderen Anbietern kommen, einfordern zu können.

3.2.5 Umweltauswirkungen

Elektromobilität wird nicht zuletzt wegen ihrer erhofften positiven Auswirkung auf das Klima und die menschliche Gesundheit von Vielen als erwünschte und förderungswürdige Technologie eingestuft. Die Bundesregierung sieht in ihr das Potential, sowohl den Treibhauseffekt zu verringern und damit dem Klimaschutz zu dienen, also auch lokal die Umwelt von Schadstoffen, Feinstaub und Lärm zu befreien (Die Bundesregierung 2009). Die Möglichkeit des lokal CO₂-freien Fahrens durch die Nutzung von elektrischen Antrieben erscheint insbesondere vor den hochgesteckten Zielen zum Klimaschutz der EU, aber auch des Weltklimarates (Europäische Kommission 2007), welche einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf zwei Grad Celsius im Vergleich zu vorindustrieller Zeit vorsehen, interessant.

Emissionen & Feinstaub

Da der Verkehrssektor einen erheblichen Anteil an den weltweiten CO₂-Emissionen hat – in Deutschland sind es für den Pkw-Verkehr Anteil alleine über 12 % (McKinsey & Company 2010) – und mit einer Optimierung des Verbrennungsmotors alleine die angestrebten Ziele nicht erreichbar scheinen, ist ein Einsatz von Fahrzeugen mit emissionsärmeren Antrieben unabdingbar.

Das Potential zur Verringerung der CO₂- und anderer Emissionen ist also eines der Hauptargumente für die Förderung und den verstärkten Ausbau der Elektromobilität. Ob Elektrofahrzeuge aber tatsächlich insgesamt weniger CO₂-Emissionen verursachen als konventionelle Fahrzeuge, ist somit von entscheidender Bedeutung und wird konträr diskutiert. Während Wolfgang Lohbeck (Verkehrsexperte bei Greenpeace) in einem ZEIT-Artikel vom 27.08.2010 (Lohbeck 2010) äußert, dass Elektroautos „heute und auf lange Sicht [...] via Kraftwerk nicht weniger, sondern mehr CO₂ als ein vergleichbares Auto mit Verbrennungsmotor nach dem aktuellen Stand der Technik“ emittieren, kommt eine Studie der Universität Stuttgart zu einem gegenteiligen Ergebnis. Laut der Stuttgarter Studie „Entwicklungsstand und Perspektiven der Elektromobilität“ weisen Elektrofahrzeuge schon heute geringere CO₂-Emissionen auf als vergleichbare Referenzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor und Benzin als Treibstoff. Dieser positive Trend kann sich zukünftig

durch eine angenommene Reduzierung der spezifischen CO₂-Emissionen bei der Stromherstellung noch verbessern. Dabei ist zu bedenken, dass auch bei konventionellen Verbrennungsmotoren noch Effizienzsteigerungen erwartet werden können.

Im Detail:

Die Studie der Universität Stuttgart untersucht die Well to Tank-(Emissionen die bei der Kraftstoffbereitstellung anfallen) und Tank to Wheel-(beim Kraftstoffverbrauch) CO₂-Emissionen verschiedener elektrischer und hybrider Antriebskonzepte im Vergleich zu konventionellen Referenzfahrzeugen (Blesl et al. 2010). Drei verschiedene Nutzertypen mit jeweils unterschiedlichen Fahranteilen Innerorts, Außerorts und täglichen Wegstrecken wurden dabei miteinander verglichen.

Folgende Ergebnisse werden vermittelt:

Erstens: Die Well to Tank-CO₂-Emissionen hängen stark vom Produktionspfad der Stromproduktion ab. Wird dieser aus Erneuerbaren Energien gewonnen, fallen fast keine Well to Tank-Emissionen an, sind es fossile Energieträger sieht das Ergebnis deutlich schlechter aus. Für die Analyse wurde der deutsche Strommix des Jahres 2007 nach UBA (2009) angenommen.

Zweitens: Schon heute sind die Well to Wheel-CO₂-Emissionen im Kleinwagenbereich unabhängig vom Nutzerprofil für alle alternativen Antriebskonzepte (BEV, HEV, PHEV und FCEV) geringer als diejenigen der Referenz-Benzinfahrzeuge, am kleinsten bei den BEVs und PHEVs. Das gleiche Muster für die Well to Wheel-Emissionen belegt die Studie auch für das Mittelklassesegment mit absolut gesehen höheren CO₂-Emissionen.

Die Studie Blick macht auch eine Schätzung für das Jahr 2030 und nimmt dafür die spezifischen CO₂-Emissionswerte für Stromerzeugung an, die im Rahmen der Studie „Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit herausgegeben werden (BMWI 2005). Demnach verringern sich die Emissionen der Referenzfahrzeuge aufgrund von sinkendem Kraftstoffverbrauch, die mit Abstand größte Reduktion bei den CO₂-Emissionen ist aber bei den BEVs zu finden. Der Grund hierfür ist vor allem die angenommene Reduktion der CO₂-Emissionen in der deutschen Stromerzeugung von heute 173,3 kg/GJ auf 80,4 kg/GJ im Jahr 2030 (Blesl et al. 2010). Hiervon profitieren die BEVs am stärksten, aber auch die PHEVs, wobei hier nur der Fahranteil im elektrischen Modus betroffen ist.

Neben den CO₂-Emissionen entstehen beim Verbrennungsprozess auch weitere unerwünschte Nebenprodukte wie Stickoxide. Sie sind für die menschliche Gesundheit schädlich und beeinträchtigen die Lungenfunktion, spielen aber auch bei der Versauerung und Eutrophierung von Gewässern und Böden eine Rolle (VCÖ-Forschungsinstitut 2009). Diese Emissionen fallen bei Elektrofahrzeugen im Betrieb weg und werden vor allem nicht wie bei konventionellen Autos, in unmittelbarer Nähe zum Menschen abgegeben.

Eine weitere Umweltbelastung, die man durch die Elektromobilität verringern möchte, ist der Feinstaub. Hier erhofft man sich eine deutliche Entlastung geplagter Innenstadtbereiche. Lediglich der Reifenabrieb, der immerhin noch mit durchschnittlich knapp 5 % zu den gesamten Feinstaubemissionen im PM₁₀⁴⁴ Bereich beiträgt, kann nicht auf diese Weise reduziert werden (Rosenow 2008). Grundsätzlich sind Elektro-

⁴⁴ PM₁₀ bezeichnet die Masse aller im Gesamtstaub enthaltenen Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 µm ist

fahrzeuge damit gut geeignet, den Liefer- und Individualverkehr in Innenstadtbereichen abzudecken, wo aus Umweltschutzgründen schon heute andere Fahrzeuge ausgeschlossen sind.

Die Umweltauswirkungen von Elektroautos und ihre Energiebilanz hängen nicht nur von deren Herstellung, dem verwendeten Strommix und den nachgeordneten Recyclingprozessen ab (siehe Kapitel 3.2.6), sondern auch von deren Einsatz bzw. welche anderen Verkehrsmittel durch sie substituiert werden. Wird beispielsweise ein Elektroleichtfahrzeug als Fahrradersatz genutzt, steigt der Energieverbrauch, wird ein Elektroauto anstatt eines konventionellen Autos eingesetzt, eröffnet sich Potential zur Reduktion von Emissionen und Energieverbrauch im motorisierten Individualverkehr (Knie et al. 1999). Elektromobilität bedeutet also nicht grundsätzlich weniger Emissionen und weniger Energieverbrauch. Es besteht auch die Gefahr, dass aufgrund der niedrigen Grenzkosten und des „grünen Images“ Verbraucher verstärkt auf das Autofahren mit BEVs umsteigen könnten. Des Weiteren könnte der Druck auf Politik und Hersteller sinken, die Effizienzsteigerung der konventionellen Fahrzeuge voranzutreiben und das Verkehrssystem insgesamt neu zu strukturieren.

3.2.6 Rohstoffe und Recycling

Für die heutige Batterietechnologie spielt Lithium als Basismaterial eine herausragende Rolle (Angerer et al. 2009), da Lithium-Ionen-Batterien derzeit aufgrund von Größen und Gewichtsvorteilen, aber auch Lebensdauer und Zyklenfestigkeit (VCÖ-Forschungsinstitut 2009), die Nickel-Metallhydrid-Batterien verdrängen. Die Frage nach der Verfügbarkeit von Lithium ist daher von entscheidender Bedeutung (Angerer et al. 2009). Ein Großteil der bekannten Lithiumreserven (84 %) liegen in Südamerika, etwa zwei Fünftel davon in Bolivien (VCÖ-Forschungsinstitut 2009). Bolivien fördert derzeit kein Lithium und fällt deswegen zurzeit als Rohstoffquelle aus. Die Regierung hat jedoch angekündigt, es ab 2013 abzubauen, allerdings im Alleingang ohne Einbezug der Privatwirtschaft (Deutsche Bank 2008). Würde Bolivien seine Lithiumreserven weiterhin nicht zur Verfügung stellen, könnte nach Kalkulationen der Deutschen Bank schon 2017 die Nachfrage an die angenommene maximale jährliche Förderkapazität von 200.000 Tonnen stoßen (ebd.). Es wird aber davon ausgegangen, dass ein steigender Rohstoffpreis für Lithium die Entdeckung neuer Rohstoffvorkommen und die Entwicklung neuer Technologien zur Lithiumgewinnung fördern wird. Aufgrund dessen und unter Einbezug eines angenommenen zukünftigen großflächigen Batterierecyclings geht die Deutsche Bank davon aus, dass Lithium langfristig als Rohstoffquelle für die Automobilindustrie zur Verfügung stehen wird.

Auch nach einer Studie des Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) ist bis 2050 unter Einbeziehung der Bedarfsentwicklung auf dem Fahrzeugbatteriemarkt, welche mittels zweier Marktpenetrationsszenarien berechnet wurde, und der Verknüpfung mit Sammel- und Recyclingquoten nicht mit einem Engpass der Lithiumreserven zu rechnen (Angerer et al. 2009).

Vor dem Hintergrund der begrenzten Rohstoffverfügbarkeit, aber auch zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Elektromobilität, stellt sich die Frage nach dem Recycling. Welche Teile sollen recycelt werden, sind die Verfahren hierfür vorhanden und werden sie bereits angewandt? Bisher liegt der Schwerpunkt auf dem Recycling der Lithium-Ionen-Batterien und hier insbesondere auf der Rückgewinnung von Kobalt, Nickel und Kupfer (GRS Batterien 2007). Lithium-Ionen-Batterien von Elektro- und Hybridfahrzeugen enthalten eine nicht unerhebliche Menge von 2 bis 6 kg Lithium je nach Batteriekapazität (Angerer et al. 2009). Zu deren Recycling wären Sammelkonzepte vergleichbar dem der heutigen Starterbatterien denkbar. Das Recycling von Lithium-Batterien an sich befindet sich derzeit noch in einem recht frühen Stadium, zwar werden bereits Lithium-haltige Batterien z.B. in Belgien von der Firma Umicore recycelt, hier steht bisher allerdings erst die Rückgewinnung von Kobalt, Nickel und Kupfer an. Eine Erweiterung auf Lithium ist geplant, das Verfahren hierzu ist aber noch in der Entwicklung (Umicore 2009). Bisher ist

nur die Firma Toxco Inc. aus Kanada in der Lage, im kommerziellen Stil Lithium-Batterien mit Rückgewinnung von Lithium zu recyceln (Toxco 2003).

Handlungsbedarf ist von Rechtswegen auch dadurch notwendig, dass laut der EU-Richtlinie 66/2006 eine bestimmte Quote in der Sammlung und Rückführung von Altbatterien eingehalten werden muss.⁴⁵ Derzeit steht allerdings kein Verwertungsweg, der diesen Ansprüchen genügen würde, zur Verfügung (BMU 2006). Für Deutschland sieht das BMU das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus dem Fahrzeugbereich in einem frühen Entwicklungsstadium und fördert das Batterierecycling unter den Förderschwerpunkt Elektromobilität (BMU 2009). Das Projekt nennt sich LithoRec, ist ein Verbundprojekt von zehn Industriepartnern und sechs Hochschulinstituten und wird von 2009 bis 2011 mit insgesamt 8,4 Mio. Euro vom BMU gefördert. Zwar existieren heute bereits etablierte Lösungen für kleinere Batterien aus Handys, Laptops etc., aber keine Strukturen für Traktionsbatterien. Vor dem Hintergrund der angenommenen starken Zunahme von gealterten Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen, widmet sich das Projekt möglichen Rücknahme- und Recyclingkonzepten. Ein Schwerpunkt ist die Rückgewinnung von Lithium und Kobalt und ihre Rückführung als Sekundärrohstoff in die Herstellung neuer Batterien (Bärwaldt o.J.).

⁴⁵ VDI/VDE/IT Projekthomepage LiBRi

4 Offene ITA-Fragestellungen

Im vorhergehenden Kapitel wurden die wesentlichen technischen Entwicklungen, die vorhandenen und antizipierten sozio-ökonomischen Wechselwirkungen, sowie der Stand des Wissens im jeweiligen Bereich dargestellt. Dabei sind bereits an vielen Stellen offene Fragen und weiterer Forschungsbedarf angesprochen worden. Diese offenen Fragen und der jeweilige Forschungsbedarf sollen in diesem Kapitel in komprimierter Form, gegliedert nach verschiedenen technischen und nicht-technischen Aspekten, skizziert werden.

4.1 Technik und Infrastruktur

Offen bleibt bisher, wie sich Technik und Infrastruktur weiter entwickeln, welche Entwicklungen für wen wünschenswert wären und welche als realistisch erachtet werden. Aus technischer Sicht gibt es mehrere Möglichkeiten, die Ladung der Batterie vorzunehmen. Je nachdem, welche Art der Aufladung (Laden per Kabel oder Induktion, Batterietausch) betrachtet wird, ergeben sich unterschiedliche Sicherheitsrisiken, Eignung zur Integration in Smart Grids, Implikationen für die Batterielebensdauer, Normung, Geschäftsmodelle, sowie Spielräume bzw. Einschränkungen für die Automobilhersteller. Im Folgenden werden einige Fragen hervorgehoben, denen besondere Bedeutung zukommt:

- Welche Antriebe werden sich mittelfristig durchsetzen; eher Hybridtechnik oder rein batteriebetriebene Fahrzeuge; Wird sich eine Koexistenz verschiedener Antriebstechnologien etablieren?
- Welche Entwicklungspotentiale lassen sich im Bereich der Batterieentwicklung identifizieren; Wo muss eine effektive Forschungsförderung ansetzen? Welche Akteure müssen einbezogen werden, welche Kooperationen sind erforderlich? Wie wahrscheinlich ist es, dass die Energiedichte der Batterien weiterhin steigt (um durchschnittlich ca. 5 %/Jahr wie bisher)?; Wie würde sich das auf die Nutzerakzeptanz und Marktdurchdringung auswirken?
- Welcher Fortschritt lässt sich bei der Reduktion der Ladezeit erzielen? Welche Technologien kommen wo zum Einsatz? Wie sieht es mit Ladepunkten im öffentlichen Raum aus? Welche Betreiberkonzepte und Geschäftsmodelle kommen für den Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur in Frage? Welche Möglichkeiten bietet das kontaktlose Laden über Induktionsschleifen im öffentlichen Raum?
- Bei den Batterietauschkonzepten wird die Batterie nicht mehr über ihre gesamte Nutzungsdauer einem Fahrzeug zugeordnet, sondern vielmehr zwischen den Fahrzeugen gewechselt. Wichtige Frage wäre, ob sich hier einheitliche, herstellerübergreifende Standards formulieren lassen? Weiter wäre zu klären, wer für die Qualität und den Ladungszustand der Batterien garantiert? Letzteres führt wieder zu der Frage nach möglichen Betreiberkonzepten und Geschäftsmodellen.
- Damit der Kunde möglichst einfach alle Ladeinfrastrukturen nutzen kann, ist es entscheidend, die Standardisierung der beteiligten Komponenten (Stecker, Batterien...) voran zu treiben. Das betrifft auch die sehr grundsätzliche Frage, wo die Messung der Stromabnahme stattfindet: im Automobil oder in der Ladestation? Da hierbei noch keine Einigkeit besteht, ist die Frage, wo die Hürden liegen und welche Akteure sich sperren. Parallel betriebene Insellösungen technischer Natur reduzieren die Effektivität von Ladestationen verschiedener Betreiber und verschiedener Geschäftsmodelle. Inwieweit lassen sich hier negative Einflüsse auf das Marktgeschehen vermeiden?
- Welche Effekte werden bei den heutigen Automobilherstellern in Deutschland erwartet, werden sie sich umorientieren bzw. den technischen Vorsprung zu Asien schnell aufholen können?

Noch ist ungewiss, welche der angesprochenen Ladetechniken sich durchsetzen werden und wer in Zukunft die Infrastrukturbereitstellung für die Elektromobilität übernehmen wird. Viele Akteure sind hier aktiv, neben den Automobilherstellern vor allem die Energiekonzerne, der Staat und neuerdings eigens hierfür

gegründete Organisationen und Unternehmen. Interessant wird sein, wer sich zum Mobilitätsdienstleister entwickelt und ob hierfür bestehende Akteure verstärkt Kooperationen eingehen wie heute schon Daimler mit RWE oder BMW mit EON (siehe Tabelle 2 im Anhang).

In der öffentlichen Diskussion wird häufig die Bedeutung der Automobil-Traktionsbatterien als geeignete Energiespeicher für ein „intelligentes Stromnetz“ herausgestellt. Das scheint naheliegend, denn Batterien dieser Kapazität gibt es derzeit nicht in Haushalten und die Energieversorger – im Gegensatz z.B. zu Japan – haben bisher kein Interesse an zentral installierten Energiespeichern. Wenn aber schon dezentrale Energiespeicher in Elektro-Pkw gewünscht sind, haben diese den Nachteil, dass die Automotive-Batterien teurer sind als solche, die im Haus selbst installiert wären – Automotive-Batterien benötigen ein spezielles Packaging, um bei Verkehrsunfällen intakt zu bleiben, und eine ausgeklügelte Temperaturanpassung an die Umgebungstemperatur, in einem weit größeren Außentemperatur-Bereich als in einem Gebäudekeller. Dies alles erhöht die Kosten einer Elektroauto-Traktionsbatterie bedeutend. Daraus folgt die Frage, ob sich Automotive-Batterien überhaupt und in welchen Geschäftsmodellen als Energiespeicher in intelligenten Stromnetzen amortisieren.

4.2 Einfluss auf Wirtschaftsstruktur und Ausbildung

Die Herstellung von Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben fügt sich nicht ohne weiteres in die etablierten Strukturen der Automobilhersteller und Zulieferer. Es stellt sich die Frage, welche Veränderungen hier stattfinden werden. Ein gravierender Strukturwandel ist im Gange und die „Claims“ für zukünftige Wertschöpfung werden abgesteckt. Gegenwärtig gehen diverse Experten davon aus, dass ein wesentlicher Anteil der Wertschöpfung an die Zulieferer für Batterien und IKT gehen wird, sowie an die Anbieter der Ladeinfrastruktur. Damit bleibt weniger für die Automobilhersteller übrig, die versuchen, sich in die letztgenannten Bereiche auszudehnen. Beispiele hierfür sind Daimler mit eigener Batterieherstellung oder Peugeot als Mobilitätsdienstleister (siehe Tabelle 2 im Anhang).

Autos müssen nicht nur hergestellt, sondern auch von geschultem Personal gewartet und repariert werden können. Wie sehr dieser letzte Aspekt noch zu berücksichtigen ist, verdeutlicht eine Umfrage des TÜV Süd bei Autohäusern und Kfz-Werkstätten in Deutschland.⁴⁶ Demnach hat ein Großteil der Werkstätten keinerlei praktische Erfahrung oder Schulung im Umgang mit Hybrid- und Elektrofahrzeugen, nur die befragten Toyota-Werkstätten bilden hier eine Ausnahme. Auch für die nahe Zukunft gab nur eine Minderheit nach dieser Befragung an, ihr Personal schulen lassen zu wollen. Besorgniserregend vor diesem Hintergrund ist, dass mehr als ein Fünftel der Werkstätten trotzdem bereit wäre, auch ohne Schulung ein Elektroauto zu reparieren. Der Grund liegt unter anderem darin, dass die meisten Befragten das Risiko im Umgang mit dem Elektroauto als deutlich geringer im Vergleich zu normalen Autos ansehen. Das Risiko von möglicherweise tödlichen Stromschlägen und Batteriebränden wurde nur von wenigen wahrgenommen. Das sind zu berücksichtigende Ergebnisse, bedenkt man, dass diese Batterien im Hochspannungsbereich arbeiten und ihr Umgang Spezialwissen erfordert (Der Tagesspiegel 2010).

4.3 Entwicklung von Präferenzen und Mobilitätsmustern

In Kapitel 3.2.1 sind bereits mehrere wichtige Einflussfaktoren auf Kaufentscheidung und Mobilitätsmuster angeführt worden. Dabei sind offene Fragen genannt worden, allen voran, diejenige, ob und wie viel die Nutzer bereit sind, für Elektromobilität zu bezahlen. Bisher ist unklar, wie sich die bisher ver-

⁴⁶ http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1270791259013646480118/4_TUV_SUD_AMI2010_Auswertung%20E-Auto-Werkstaettenenumfrage%202010.pdf, 29.09.2010

gleichsweise hohen Anschaffungs- und Unterhaltskosten entwickeln werden. Offene Fragen zum Thema Kaufentscheidung sind:

- Wie entwickelt sich die Preislücke zwischen herkömmlichen Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor und BEV? Unter welchen Gegebenheiten sind potentielle Kunden bereit zu kaufen?
- Welche Rolle spielen externe Faktoren z.B. ein Schwanken des Ölpreises auf die Total Cost of Ownership? Kann ein sprunghafter Anstieg des Ölpreises zu einem plötzlichen „Run“ auf Elektrofahrzeuge führen?
- In welcher Form und mit welchen Mitteln können Ingenieure und andere Experten im Unternehmen die Präferenzen der Kunden adäquat einschätzen und bewerten?

Batteriebetriebene Fahrzeuge, die nicht über einen Range Extender verfügen, werden nach heutiger Einschätzung in absehbarer Zeit nicht die Reichweiten von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren erreichen. Wichtige Frage für die Marktdurchdringung in den nächsten Jahren ist demnach, wie diese technischen „Settings“ zu den etablierten Mobilitätsmustern passen. Werden die Mobilitätsmuster sich, zumindest bis zu einem gewissen Grad, auf das neue Technik-Infrastruktur-System E-Mobilität einstellen? Werden Range Extender die Übergangsphase dominieren? Sind hier modulare Lösungen vorstellbar, wie z.B. ein kleiner Verbrennungsmotor der, je nach aktuellem Bedarf, über eine (genormte) Schnittstelle angeschlossen oder abgenommen werden kann?

Nach wie vor ist der Automobilbesitz stark emotional geprägt und spielt in vielen gesellschaftlichen Gruppen als Statussymbol eine wichtige Rolle. Die Präferenzen der jungen Generation deuten hier vor allem in urbanen Räumen, auf einen Wertewandel hin. „Jüngere“ scheinen sich stärker über Handys, MP3-Player und andere Unterhaltungselektronik zu identifizieren. Verstärkt sich dieser Trend und überträgt sich auch auf das Elektroauto könnten Geschäftsmodelle, die nicht den Automobilbesitz beim Privatkunden sehen, davon profitieren. Generell gibt es viele Anzeichen, dass die Elektromobilität mit neuen Geschäftsmodellen einhergeht, wie beispielsweise dem Car-Sharing, welches dem Reichweitenproblem einen Pool an Fahrzeugen mit unterschiedlichen Fahrzeugkonzepten entgegen stellen kann. Andere Ideen sind Batterien, ähnlich wie bei Mobilfunkverträgen, zur Nutzung anzubieten und nicht mit dem Auto zu verkaufen. Hier verbinden sich zahlreiche offene Fragen, die entscheidend für die zukünftige Ausprägung der Elektromobilität werden könnten:

- Welche Geschäftsmodelle sind denkbar und unter welchen Bedingungen wirtschaftlich? Mit welchen Technologien und mit welchem Nutzerverhalten sind sie verbunden, wo sind die Zielgruppen?
- Welchen Einfluss haben neue Geschäftsmodelle auf die Technikentwicklung (z.B. Austausch von Batterien, Design der Fahrzeuge etc.)?
- Wie sieht die weitere Entwicklung der jungen Generation zum Thema Automobilbesitz und Auto als mögliches Statussymbol aus? Was bedeutet dies für die Geschäftsmodelle und Mobilitätsmuster? Sind die „Jüngeren“ offener für eine flexible, verkehrsträgerübergreifende Mobilität als die „Älteren“? Wenn ja, bleibt das so oder ändert sich das in späteren Lebensphasen?
- Wie wirkt sich die Alterung der Gesellschaft auf die Entwicklung der Elektromobilität aus?

4.4 Fördermöglichkeiten und politische Rahmenbedingungen

Die Frage, ob und an welchen Stellen die Politik mit Anreizen und Fördermitteln in die Entwicklung der Elektromobilität eingreifen soll, ist keineswegs unumstritten. Folgende Fragen werden in diesem Kontext diskutiert und bieten sich für eine Weiterverfolgung an:

- Wo soll gefördert werden? Bei der Entwicklung und Demonstration von Technik und Infrastruktur; bei Entwicklung von Geschäftsmodellen? Soll der Anschaffungspreis der Fahrzeuge über Fördermittel „künstlich“ gesenkt werden, um eine schnellere Marktdurchdringung, höhere Produktionszahlen, und damit Skaleneffekte zu erreichen?
- Wie lassen sich die bereits aufgelegten Förderprogramme ergänzen und erweitern?
- Mittelfristig würde zu diskutieren sein, wie Ausfälle aus der Mineralölsteuer zu kompensieren sind.
- „Vehicle-to-grid“-Ansätze lassen sich kaum mit der heutigen Situation der zentralistischen Stromerzeugung und -verteilung vereinen, zudem sind Energiemärkte und ihre Regulierung weitgehend europäisiert. Welche Einflussmöglichkeiten haben hier nationale politische Vorgaben?
- Wie kann der Energieverbrauch eines Modells für den Kunden sinnvoll angegeben werden? Bei rein elektrischen Batteriefahrzeugen ist eine Verbrauchsangabe wie „kWh/km“, Kilowattstunden pro Kilometer, nach der Definition eines Geschwindigkeitsprofils wie bei der heutigen Normverbrauchsbestimmung möglich. Bei Plug-In-Hybridfahrzeugen und solchen mit Range Extender, also beim „Mischbetrieb“ von Flüssigkraftstoffen und Strom, ist eine regulatorische Vorgabe der Verbrauchsbestimmung noch zu finden.

4.5 Ökologische Fragen, „Sauberkeit“ und Elektromobilität

Die ökologischen Effekte, allen voran der Ausstoß an Treibhausgasen, der Elektromobilität hängen zunächst davon ab, wie der Strom entstanden ist. Wie in Kapitel 3.2.5 ausgeführt, kommen hier verschiedene Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen, insbesondere hinsichtlich der Frage ob Elektromobilität auf Basis des aktuellen Strom-Mix mehr oder weniger CO₂ ausstößt, als herkömmliche Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Wenn sich die Mobilitätsmuster tatsächlich hin zu einer flexibleren Verkehrsmittelwahl ändern sollten, könnte eine gut ins Verkehrssystem integrierte Elektromobilität zu einer Reduktion der Verkehrsleistung im Pkw-Sektor führen, z.B. weil längere Strecken eher mit der Bahn zurück gelegt werden und erst am Zielort wieder ein Pkw genutzt wird. Dieser Frage wäre weiter nach zu gehen.

Für beide hier angesprochenen Möglichkeiten, also sowohl für eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes pro Pkw-Kilometer als auch ein Modal Shift in Richtung öffentlicher Verkehr müssen eventuelle „Rebound-Effekte“ einbezogen werden. Sowohl ein „Sauberes“ fahren als auch frei werdende Kapazitäten auf den Straßen könnte Autofahren wieder attraktiver machen und zu zusätzlichen Emissionen führen.

4.6 Siedlungsstruktur

Verkehr ist ein bedingender und gleichzeitig ein abhängiger Faktor für die Entwicklung der Siedlungsstruktur. Veränderungen im Verkehrssystem können sich mittel- bzw. langfristig auch auf die Siedlungsstruktur auswirken. Diese Wechselwirkungen sollten gerade vor dem Hintergrund einer langfristigen Perspektive umfassender erörtert werden.

5 Vorschläge zur methodischen Umsetzung

Die inhaltliche Breite dieser ITA-Kurzstudie deutet bereits an, dass die Voraussetzungen und die möglichen Folgen von BEV von sehr unterschiedlichen Faktoren abhängen. Die Einschätzungen vieler Aspekte gehen noch deutlich auseinander, es besteht ein hohes Maß an Unsicherheit. Diese Anfangsphase ist im Hinblick auf ITA-relevante Arbeiten durch verschiedene wenig aufeinander abgestimmte methodische Vorgehensweisen geprägt. Teilweise wird bereits mit Szenarien gearbeitet, teilweise wurden erste empirische Untersuchungen durchgeführt; in anderen Studien wurden Experten befragt und stark auf die technischen Potentiale fokussiert. Daneben sind, gerade im letzten Jahr, eine ganze Reihe von Studien zum Thema erschienen. Diese sehr spezifische Situation führt dazu, dass die unten skizzierten methodischen Vorschläge sehr detailliert ausfallen können, da sie an umfangreiche Vorüberlegungen anschließen und es ermöglichen, die vorhandenen Wissenslücken sehr präzise zu adressieren.⁴⁷

Vor diesem Hintergrund zielen die hier entwickelten Vorschläge zur methodischen Umsetzung auf zweierlei ab: Die Integration und kritische Reflexion bestehender Wissensstände und, teilweise darauf aufbauend, das Schließen bereits identifizierter Wissenslücken. In einer frühzeitigen Phase der Innovations- und Technikanalyse, in der die Wissensgenerierung eine besondere Rolle spielt, bietet sich noch eine parallel arbeitende Vorgehensweise an, wie sie sich beispielsweise in einer Themenfeldausschreibung umsetzen lässt. Folgende Aspekte sollten dabei erforscht werden.

5.1 Meta-Szenarien zur Integration verschiedener Wissensstände

Der Innovationsprozess von BEV wird nur in seinen Wechselwirkungen mit zahlreichen anderen Faktoren zu verstehen und gestalten sein. Die Potentiale und Grenzen vieler Einzelfaktoren werden von unterschiedlichen Akteuren unterschiedlich eingeschätzt. Da die Akteure in diesem breit angelegten Feld auf verschiedene Wissensbestände aus unterschiedlichen Disziplinen rekurrieren, die teilweise nur wenig miteinander verknüpft sind, wäre zunächst ein Überwinden dieser Heterogenität methodisch anzustreben.

Vorgehensweise: Um diese unterschiedlichen Wissensbestände zu integrieren und der Heterogenität gerecht zu werden, bietet sich das Arbeiten mit Meta-Szenarien an. Diese könnten bereits existierende Szenarien aufnehmen und durch weitere Informationen und Perspektiven verschiedener Akteure ergänzen. Die Szenarien würden damit als inter- oder transdisziplinärer Bezugspunkt in der Diskussion dienen und dazu beitragen, Widersprüche in Argumentationslinien aufzudecken und Wissenslücken zu identifizieren. Es wäre darüber nachzudenken, wie verschiedene Akteursgruppen (z.B. Wissenschaftler, Stakeholder, Bürger) in verschiedene Phasen des Szenarioprozesses sinnvoll eingebunden werden können.

Wie oben ausgeführt wurde, können solche Szenarien zu BEV zwei Aspekte besonders berücksichtigen, die ihrerseits noch ungewiss sind. Zum einen kann eine starke Verschränkung mit Entwicklungen an den Rohstoffmärkten angenommen werden, sodass es erforderlich scheint, diese Entwicklungen und ihre möglichen Auswirkungen ihrerseits über Szenarien mit abzubilden. Zum anderen wären mögliche Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Elektromobilität in den Szenarien zu berücksichtigen.

5.2 Empirische Untersuchungen zu Nutzereinstellungen und Mobilitätsmustern

Die Entwicklungen von Nutzerpräferenzen und Mobilitätsmustern spielen eine entscheidende Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit der Elektromobilität. Hier wäre es wichtig, die Ansprüche und Flexibilität der Nutzer

⁴⁷ Es nicht davon auszugehen, dass die anderen Kurzstudien des Projekts ITA-Monitoring im jeweiligen Kapitel zur methodischen Umsetzung den gleichen Grad an Differenzierung und Detailliertheit erreichen können.

präziser einschätzen zu können. Begleitforschung zu Pilotversuchen zeichnet meist ein positives und zufriedenes Bild der Nutzer von Elektroautos, die wenig vermissen und sich recht schnell an die veränderten Umstände anzupassen scheinen, was für „early adopters“ typisch ist. Die empirische Basis ist allerdings noch sehr schmal und zu erweitern. Gerade in frühen Phasen der Markteinführung neuer Produkte können die Einschätzungen der Nutzer noch durch die besondere Motivationslage dieser „Pionier-Nutzer“ geprägt sein.

Vorgehensweise: Solch eine Verbesserung der empirischen Basis zu Verhalten und Präferenzen von Nutzern könnte durch großflächige Versuche in Modellgebieten mit unterschiedlichen Nutzerstrukturen, d.h. in Wohngebieten mit freistehenden Ein- und Mehrfamilienhäusern, in Stadtzentren mit dichter Gründerzeitbebauung, in Neubaugebieten etc. durchgeführt werden. Ebenfalls könnte eine eventuelle Förderung von Anschaffung und Nutzung der Elektromobilität verbunden mit der Bereitschaft, im Gegenzug Daten zur Verfügung zu stellen, enger verknüpft werden. Für die Erhebungen selbst kommen verschiedene methodische Ansätze in Frage. Grundsätzlich lassen sich über einen standardisierten Fragebogen wichtige Grundlagen erheben. Dabei sollte auch ein zeitlicher Verlauf Berücksichtigung finden, das heißt, dass mehrere Wellen der Befragung durchgeführt werden (vor, während, nach der Einführung). Gerade in frühen Phasen technischer Invention sind solche Umfrageergebnisse diskursiv zu bewerten, da die argumentative Gemengelage noch wenig strukturiert ist.

Auf dieser Basis sind entweder bestimmte Fragestellungen oder ausgewählte gesellschaftliche Gruppen näher zu beleuchten. Beispielsweise würde es sich anbieten, die Einstellungen junger Erwachsener in einem besonderen Modul zu erheben und eventuell tiefer auszuleuchten, da sich in dieser Gruppe eine Verschiebung der Präferenzen und Verhaltensmuster im Mobilitätsbereich andeutet. Aus ähnlichen Gründen könnte die Gruppe der Über-Sechzigjährigen gesondert betrachtet werden, da sich auch bei dieser Gruppe andeutet, dass die Mobilitätsmuster anders aussehen als bei Vergleichsgruppen vor 10 oder 20 Jahren. Ein Vergleich auf europäischer Ebene würde zu einem vollständigeren Bild beitragen, hier befinden sich wichtige zukünftige Märkte.

5.3 Unterstützung innovativer Geschäftsmodelle

Ausgehend von den bereits seit längerem etablierten Geschäftsmodellen lassen sich in einigen Großstädten Pilotprojekte mit neuen Geschäftsmodellen beobachten, die zunächst auf das kurzzeitige Mieten von Autos und Fahrrädern abzielen, aber in vielen Studien auch als Möglichkeit diskutiert werden, die Marktdurchdringung von BEV zu fördern. Solch innovativen Geschäftsmodelle (z.B. Car2Go, Autolib) sind ein wichtiger Bestandteil der aktuellen Debatten um Elektromobilität, da sie die Nachteile wie geringe Reichweite, lange Ladezeiten, Fragen der Zuverlässigkeit oder hohe Anschaffungskosten zumindest teilweise ausgleichen bzw. abschwächen könnten. Dazu kommt das nachlassende Interesse vieler junger Erwachsener in urbanen Räumen am persönlichen Automobilbesitz, was neue Möglichkeiten für Geschäftsmodelle eröffnen könnte.

Vorgehensweise: Neue Geschäftsmodelle (Car-Sharing und verwandte Ansätze, Batterie-Leasing) sollten verstärkt erprobt und in ihren möglichen Auswirkungen auf Mobilitätsmuster zum einen und auf die Geschäftsmodelle zum anderen untersucht werden, um mögliche Implikationen neuer Geschäftsmodelle besser fassen zu können. Eine differenzierte Betrachtung, welche der neuen Geschäftsmodelle von welchen Kundensegmenten angenommen werden, wäre hier anzuraten und wurde von Unternehmensberatungen wie Roland Berger und anderen bereits ansatzweise vollzogen. Allerdings stehen alle diese Untersuchungen vor der Herausforderung, dass die heutigen Befragten oft keinerlei eigene praktische Erfahrung mit dem Thema Elektromobilität haben.

Nicht außer Acht gelassen werden sollten Ansätze, bei denen das Fahrzeug privat angeschafft, die Batterie aber geliehen oder geleast wird. Hier wären systematische Vergleiche zu Geschäftsmodellen und Nutzerverhalten in anderen Technikfeldern wünschenswert (Mobilfunkindustrie, Energiesektor).

5.4 Stärkung der Intermodalität

In den acht deutschen Modellregionen für Elektromobilität, die von der Bundesregierung im Konjunkturpaket II gefördert werden, findet eine Vernetzung mehrheitlich zwischen der Energiewirtschaft und der Automobilindustrie statt. Der Schwerpunkt dieser Einzelansätze liegt darauf, Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor durch solche mit Elektroantrieb zu substituieren und dazu entsprechend umgerüstete Fahrzeuge zur Verfügung zu stellen. In mehreren Modellregionen spielen die Entwicklung und der Einsatz von Hybridbussen im ÖPNV hauptsächlich unter fahrzeugtechnischen Gesichtspunkten eine Rolle (München, Stuttgart, Sachsen, Rhein-Ruhr, Hamburg, Rhein-Main). Außer in der Modellregion Rhein-Main wird kein Gewicht auf die kundenorientierte Frage gelegt, wie elektromobiler Individualverkehr mit der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel kombiniert werden kann. Diese Intermodalität könnte jedoch helfen, die Schwächen von Elektrofahrzeugen und der öffentlichen Verkehrsmittel auszugleichen.

Vorgehensweise: Die Nahverkehrsunternehmen stehen mit den neuen, an Elektrofahrzeugen orientierten Mobilitätskonzepten im Wettbewerb. Daher ist es für sie wichtig, von vornherein eigene intermodale Konzepte anzubieten. Diese können im Rahmen von Workshops, aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen der Modellregionen, erarbeitet werden. Dabei ist auf eventuelle Wettbewerbssituationen zu achten, Aufgabenträger sollten eine aktive Rolle übernehmen. Unverzichtbar ist jedoch die Verbreiterung der empirischen Datenbasis durch Projekte in Pilotgebieten mit unterschiedlichen Siedlungsstrukturen.

5.5 Entwicklung von Roadmaps und Tests in Modellregionen

Bisher werden in Deutschland bzw. in Europa verschiedene nicht Öl-basierte Antriebstechnologien gefördert. Dabei gibt es eigene Strategien für Biomasse, Elektromobilität, Wasserstoff- und Brennstoffzellen sowie Erdgas. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll die BEV mit ihren Grenzen und Möglichkeiten in eine Gesamtstrategie einzuordnen.

Vorgehensweise: Roadmaps sind eine geeignete Methode, um solch eine Einordnung zu realisieren und, darauf aufbauend, die mittelfristige Verteilung von Fördermitteln zu koordinieren. Eine Roadmap könnte zusammen mit Akteuren aus Wissenschaft, Industrie und Politik erstellt werden. Im Unterschied zu Szenarien kann eine Roadmap deutlich konkreter und umsetzungsorientierter sein und Angaben zu Zeitplänen, Meilensteinen und Budgetverteilungen machen. Ein Vergleich mit ähnlichen Roadmaps oder Förderstrategien aus anderen Ländern (insb. Frankreich, Italien, China, Indien, USA, Japan, Brasilien) könnte das Bild abrunden.

5.6 Stärkere Integration von BEV-Technik in die Ausbildung von Fachkräften

Das oben angesprochene Problem, dass in den Werkstätten kaum für Elektromobilität ausgebildete Fachkräfte verfügbar sind, leitet über zu der Frage, wie es mit den Angeboten für Weiterbildung im Umgang mit Hochvolt-Batterien und Elektrofahrzeugen allgemein aussieht. Der Zentralverband des deutschen Kfz-Gewerbes bietet eine eintägige Fortbildung zur Fachkraft für Hochvolt-Fahrzeug an und hat ein Handbuch zur Schulung von Elektrofachkräften für Hochvolt-Systeme in Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen vorgelegt. Dennoch bleibt offen, ob zum gegebenen Zeitpunkt genügend Kapazitäten existieren um entsprechende Fortbildungen anbieten zu können. Neben dem Bereich der Weiterbildung wird es auch im

Bereich der Ausbildung für Techniker und Ingenieure einen Wandel geben müssen, um auf diese Entwicklung einzugehen.

Vorgehensweise: Hier wären Konzepte zu entwickeln, wie diese neuen Ausbildungsinhalte vermittelt werden könnten. Es wäre zu klären, welche Inhalte vermittelt werden sollten und ob die heutigen ausbildenden Institutionen Hilfestellung benötigen, um entsprechend reagieren zu können. Es handelt sich um ein dynamisches Feld, in dem Weiter- und Neuentwicklungen zu erwarten sind. Vor diesem Hintergrund könnte es sich anbieten, einen besseren Austausch zwischen Forschern, Entwicklern und Mechanikern zu ermöglichen. So könnten Mechaniker über entsprechende Ausbildungsinhalte Einblick in die Forschungspraxis bekommen und andersherum ihre Erfahrungen in den FuE-Prozess rückspeisen.

6 Weiterführende Literatur

Tab. 1: Themenbezogene Literaturvorschläge

Thema	Abstract	Quelle
Einführung	Das Dossier gibt eine Einführung in die technischen Rahmenbedingungen, politische Aktivitäten und beleuchtet insbesondere die Situation und Möglichkeiten der Kommunen. Aktuelle Beispiele werden gegeben und ein Blick auf die Geschäftsmodelle geworfen.	<i>Marwede, M.; Knoll, M. (2010):</i> Dossier Elektromobilität und Dienstleistungen. IZT Arbeitsbericht Nr. 39. Berlin. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
Rohstoffsituation: Lithium	Bericht, der sich mit dem Lithium-Bedarf in verschiedenen Sparten beschäftigt, dessen Entwicklung, aber auch dessen Angebot unter Berücksichtigung von Recycling. Anhand zweier Szenarien für die Marktdurchdringung von Elektroautos wird hier die Bedarfssituation abgeschätzt, und geschaut, ob Engpässe zu erwarten sind.	<i>Angerer, G.; Marscheider-Weidemann, F.; Wendl, M.; Wietschel, M. (2009):</i> Lithium für Zukunftstechnologien - Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität. Fraunhofer ISI. Karlsruhe
Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit von EVs	Studie der Universität Stuttgart, die verschiedene elektrische Antriebskonzepte bezüglich ihrer heutigen und zukünftigen Investitionskosten, Emissionen und Kraftstoffverbrauchs im Pkw-Bereich untersucht. Betrachtet werden unterschiedliche Nutzerprofile und Fahrzeugklassen.	<i>Blesl, M.; Bruchof, D.; Hartmann, N.; Özdemir, D.; Fahl, U.; Eltrop, L.; Voß, A. (2009):</i> Entwicklungsstand und Perspektiven der Elektromobilität Endbericht. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Universität Stuttgart
Auswirkungen der Elektromobilität auf die deutsche Automobilindustrie	Whitepaper des Marktforschungsinstitutes Technomar zur Situation der deutschen Automobilindustrie. Fazit: ihre Kernkompetenz ist stark gefährdet, andere Länder sind auf dem Vormarsch. Zwei Szenarien wie es der deutschen Automobilindustrie 2030 gehen könnte, werden entwickelt.	<i>Technomar (2010),</i> Whitepaper Elektromobilität Optionen für Deutschlands Automobilindustrie. http://www.technomar.de/downloads/whitepaperelektromobilitaetoptionenfuerdeutsch.pdf
Soziale Barrieren	Der Artikel stellt in Frage, dass technische Barrieren für den geringen Erfolg von PHEV und der Vehicle-to-Grid-Technologie verantwortlich sind und beleuchtet andere Möglichkeiten, die sich aus kulturellen und sozialen Gründen ergeben.	<i>Sovacool, B.K.; Hirsh, R.F (2009):</i> Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition. In: <i>Energy Policy</i> , Vol. 37, S. 1095-1103

7 Literaturverzeichnis

- ADAC Motorwelt* (2010): Die Spannung steigt; abgerufen am 26.08.2010 unter <http://adacemobility.files.wordpress.com/2010/07/elektromobilitaet1.pdf>
- ADFC* (2009): Was Sie wissen sollten und wie Sie ein gutes Elektro-Fahrrad finden. ADFC-Information zu Pedelecs und E-Bikes; abgerufen am 26.10.2010 unter http://www.adfc.de/files/2/135/2009-12_ADFC-Information_Elektro-Fahrraeder.pdf
- Agassi, S.* (2009): World Without Oil: Better Place Builds a Future for Electric Vehicles (Innovations Case Narrative: Better Place). In: *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, Vol.4 (4), S. 125-140.
- Akademie des Deutschen Kraftfahrzeuggewerbes GmbH* (2009): Handbuch zur Schulung von Elektrofachkräften für Hochvolt (HV) – Systeme in Kraftfahrzeugen; abgerufen am 29.09.2010 unter http://www.hv-fahrzeuge.de/fileadmin/webstore/hv-fahrzeuge/Auszug_HV_Handbuch_2009.pdf
- Anderson, P.H.; Mathews, J.A.; Rask, M.* (2009): Integrating private transport into renewable energy policy: The strategy of creating intelligent recharging grids for electric vehicles, In: *Energy Policy*, Vol. 37, S. 2481-2486.
- Angerer, G.; Marscheider-Weidemann, F.; Wendl, M.; Wietschel, M.* (2009): Lithium für Zukunftstechnologien, Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität. Fraunhofer ISI. Karlsruhe
- Autosheise* (2010): Toyota: künstliches Motorgeräusch für Elektroautos; abgerufen am 25.10.2010 unter <http://www.heise.de/autos/artikel/Toyota-kuenstliches-Motorgeraeusch-fuer-Elektroautos-1067863.html?artikelseite=2>
- Avis & Renault* (2010): Avis Introduces Electric Vehicles for hire together with its long-term partner Renault, Pressemitteilung; abgerufen am 19.10.2010 unter http://www.media.renault.com//data/doc/mediarenaultcom/en/21832_100226_AVIS_EV_GB_1E121F57.pdf
- Bady, R.; Renner, C.* (1997): Elektrofahzeugentwicklung in Japan/USA/Europa. Institut für Kraftfahrwesen. Aachen. abgerufen am 16.09.2010 unter <http://www.ika.rwth-aachen.de/forschung/veroeffentlichung/1997/20.-22.10/index.php>
- Bain & Company* (2010): Bain-Analyse zum Kanzlergipfel Elektromobilität: Höchste Zeit zu Handeln; abgerufen am 21.09.2010 unter http://www.bain.de/home/presse/news_2010/bain-analyse_zum_kanzlergipfel_elektromobilit%C3%A4t:_h%C3%B6chste_zeit_zu_handeln.htm
- Bärwaldt, G.* (o.J.): Lithorec – Recycling von Lithium-Ionen-Batterien. abgerufen am 29.09.2010 unter http://www.lithorec.de/fileadmin/lithorec/Ver%C3%B6ffentlichungen/100208_GB_Graz_LithoRec.pdf
- Baumann, U.* (2010): Elektroauto-Vermietung - Hertz vermietet E-Auto: Nissan Leaf wird Mietfahrzeug. In: *Auto Motor und Sport* vom 06.09.2010; verfügbar unter <http://www.auto-motor-und-sport.de/eco/elektroautovermietung-nissan-leaf-wird-mietfahrzeug-1747150.html>
- BCS* (2010): Aktueller Stand des Car-Sharing in Europa. Endbericht D 2.4 Arbeitspaket 2 des EU Projekts Momo (More options for energy efficient mobility through Car-Sharing). Willi Loose. Bundesverband Car-Sharing
- BeMobility* (2009): Projekthomepage BeMobility; abgerufen am 12.10.2010 unter <http://www.bemobility.de/site/bemobility/de/bemobility/projektziele/projektziele.html>
- Biere, D.; Dallinger, D.; Wietschel, M.* (2009): Ökonomische Analyse der Erstnutzer von Elektrofahrzeugen“. In: *ZfE, Zeitschrift für Energiewirtschaft* Nr. 2, S.173-181
- BITKOM* (2010). Großes Marktpotential für Elektroautos in Deutschland. Presseinformation. abgerufen am 23.10.2010 unter http://www.bitkom.org/files/documents/BITKOM_Presseinfo_Elektroautos_11_03_2010.pdf
- Blesl, M.; Bruchof, D.; Hartmann, N.; Özdemir, D.; Fahl, U.; Eltrop, L.; Voß, A.* (2009): Entwicklungsstand und Perspektiven der Elektromobilität. Endbericht. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Universität Stuttgart

- Blumenstein, M.* (2010): Mu by Peugeot Vom Fahrrad bis zum Transporter. Bericht. abgerufen am 27.08.2010 unter <http://ww2.autoscout24.de/bericht/mu-by-peugeot/vom-fahrrad-bis-zum-transporter/44456/173125/>
- BMU (Bundesumweltministerium, Hg.)* (2006): Berlin EU legt höhere Sammelziele für Altbatterien fest. BMU-Pressedienst Nr. 245/06; abgerufen am 29.09.2010 unter <http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/pressemitteilungen/pm/37877.php>
- BMU (Bundesumweltministerium, Hg.)* (2009): Bekanntmachung über die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität vom 22. April 2009; abgerufen am 22.09.2010 unter http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/foerderbekanntmachung_elektromobilitaet.pdf
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Hg.)* (2010): Modellregionen Elektromobilität; abgerufen am 20.09.2010 unter <http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/modellregionen-elektromobilitaet.html?nn=36210>
- BMVBS/infas/DLR (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Institut für Angewandte Sozialforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; Hg.)* (2009): Alltagsverkehr in Deutschland. Erhebungsmethoden – Struktur- Aufkommen- Emissionen- Trends; abgerufen am 06.09.2010 unter http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2008_Projektpraesentation_Nutzerworkshop_Sept09.pdf
- BMW (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) (Hg.)* (2005): Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030 Energiewirtschaftliche Referenzprognose Energiereport IV – Kurzfassung, EWI/Prognos-Studie, S. 1-44; abgerufen am 17.09.2010 unter http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Dokumentationen/ewi-prognos_E2_80_93studie-entwicklung-der-energiemaerkte-545,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf
- BMW (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) (Hg.)* (2009): Abschlussbericht: Deutsch-Französische Arbeitsgruppe "Elektromobilität"; abgerufen am 22.09.2010 unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/Industrie/elektromobilitaet,did=331064.html?view=renderPrint>
- BMW (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Hg.)* (2010): IKT für Elektromobilität – Innovationspolitik, Informationsgesellschaft, Telekommunikation. abgerufen am 16.09.2010 unter http://www.ikt-em.de/documents/BMWi_E-Flyer_Lepo_IKT_22_2b_web.pdf
- Buck, Ch.* (2009a): Zukunft der Energienetze, Energiespeicher Vorratskammern für Strom. In: Pictures of the Future. Zeitschrift für Forschung und Innovation, S. 31-33
- Buck, Ch.* (2009b): „Trapping the Wind“. In: Pictures of the Future. Zeitschrift für Forschung und Innovation. S. 48-50; abgerufen am 14.09.2010 unter http://www.siemens.com/innovation/pool/en/publikationen/publications_pof/pof_fall_2009/pof-special-edition-e-double.pdf
- Bünnagel, U.* (2009): Anreize für die Markteinführung von Elektrofahrzeugen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Vortrag Ecar-Tech am 14. Oktober 2009; abgerufen am 21.09.2010 unter http://www.zvei-elektromobilitaet.org/general/ecartec/2009-10-14_Buennagel.pdf
- Canzler, W.; Götz, K.; Heine, H.; Knie, A.; Loose, W.; Mautz, R.; Tully, C.J.; Wilke, G.* (2004): Das Auto im richtigen Leben, In: Stachlige Argumente 1/2004
- Center of Automotive Fachhochschule der Wirtschaft (FHDW)* (2010): Jugend und Automobil 2010. Bergisch Gladbach; abgerufen am 20.9.2010 unter http://www.wuv.de/w_v_infocenter/studien/jugend_und_automobil_2010
- Cherry, Ch.* (2007): Electric Bike Use in China and Their Impacts on the Environment, Safety, Mobility and Accessibility. Working Paper UCB-ITS-VWP-2007-3; abgerufen am 07.09.2010 unter <http://www.its.berkeley.edu/publications/UCB/2007/VWP/UCB-ITS-VWP-2007-3.pdf>
- Cowan, R.; Hulten, S.* (1996): Escaping Lock-In: The Case of the Electric Vehicle, In: Technological Forecasting and Social Change 53 (1), S. 61-79
- Der Tagesspiegel* (2010): Elektroautos sind angesagt – und gefährlich. Artikel abgerufen am 29.09.2010 unter <http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/elektroautos-sind-angesagt-und-gefaehrlich/1804510.html>

- Detmer, J.; Götz, K.* (2010): Die Zukunft des Verkehrs – Die Zukunft der Mobilität in der EU. Workshop. Institut für sozial-ökologische Forschung. Frankfurt am Main; abgerufen am 16.09.2010 unter http://www.isoe.de/ftp/publikationen/Future%20of%20Mobility%20EU_2010_de_JDKoG.pdf
- Deutsche Bank* (2008): Electric Cars: Plugged In Batteries must be included“. In: Global Market Researchs; abgerufen am 10.09.2010 unter http://www.ifu.ethz.ch/ESD/education/Masterstudium/PEA/Deutsche_Bank_2008_Emobility_2.pdf
- Deutsches Verkehrsforum* (2009): Elektromobilität Technologie fördern – Chancen nutzen – Nachhaltigkeit sichern. Positionspapier des Lenkungskreis Straßenverkehr; abgerufen am 10.09.2010 unter http://www.verkehrsforum.de/fileadmin/dvf/pdf_downloads/Themen/Elektromobilitaet/Positionspapier_E-Mobilitaet_09-10-19_ENDG.pdf
- Die Bundesregierung* (2007): Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm, zuletzt aktualisiert am 17.01.2008, zuletzt geprüft am 16.07.2009, abgerufen unter http://www.bundesregierung.de/nsc_true/Content/DE/Artikel/2007/12/Anlagen/2007-12-05-integriertes-energie-und-klimaprogramm,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/2007-12-05-integriertes-energie-und-klimaprogramm
- Die Bundesregierung* (2008): Sachstand und Eckpunkte zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität
- Die Bundesregierung* (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, abgerufen unter <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/nationaler-entwicklungsplan-elektromobilitaet-der-bundesregierung>
- DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik)* (2009): Elektrostraßenfahrzeuge. DKE/K 353. abgerufen am 13.09.2010 unter <http://www.dke.de/de/wirueberuns/diedke-struktur/organisationsstruktur/seiten/dke-gremiumaufeinenblick.aspx?gremiumid=2000411>
- dpa* (2010): Bayern-Vorstoß Null Steuern für Elektroautos. Focus online; abgerufen am 21.09.2010 unter http://www.focus.de/finanzen/steuern/bayern-vorstoss-null-steuern-fuer-elektroautos_aid_487569.html
- DTU (Danmarks Tekniske Universitet)* (2010): The EDISON project - Electric vehicles in a Distributed and Integrated market using Sustainable energy and Open Networks; abgerufen am 14.09.2010 unter http://www.dtu.dk/centre/cet/English/research/projects/22_The_EDISON_project.aspx
- E-Energy* (2010a): Fachtagung Datenschutz in Smart Grids; abgerufen am 30.09.2010 unter <http://www.e-energy.de/en/986.php>
- E-Energy* (2010b): E-Energy: Das "Internet der Energien"; abgerufen am 20.09.2010 unter http://www.e-energy.de/de/auf_einen_blick.php
- Engel, T.* (2009a): Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen Teil 1 der Serie: Auf welchem Weg kommt der Strom in die vielen Elektromobile?. In: Sonnenenergie 2009(2), S. 75-79
- Engel, T.* (2009b): Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen Teil 2 der Serie: An welcher Stelle des Fahrzeuges soll der Anschluss an das Stromnetz erfolgen?. In: Sonnenenergie 2009(3), S. 60-63
- Engel, T.* (2009c): Die Netzintegration von Elektrofahrzeugen Teil 3 der Serie: Mit welcher Verbindung wird das Elektroauto an das Stromnetz angeschlossen?. In: Sonnenenergie 2009(5), S. 80-83
- Erfolg!* (2010): Heutige Investitionen in E-Flotten schon ab 2015 rentabel?. In: Kundenmagazin der Technomar GmbH 3/06 2010; abgerufen am 21.09.2010 unter http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ryZh5hmbuuYJ:www.technomar.de/erfolg/erfolg3_2010
- E-Tour Allgäu* (o.J.):Projekthomepage E-Tour Allgäu, abgerufen am 16.09.2010, <http://www.ee-tour.de/projekt/zielsetzung>
- Europäische Kommission* (2007): „IPCC-Bericht unterstützt das EU-Ziel einer globalen Erwärmung auf höchstens 2 Grad C“; abgerufen am 21.09.2010 unter <http://germany.ihs.com/news/eu-de-climate-change-4-07.htm>.
- European Commission* (2010): Commission staff working document progress during 2009 at the UN Economic Commission for Europe (UN/ECE); abgerufen am 10.09.2010 unter

http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/files/unece/sec-2010-0631_en.pdf

- Eurotax Glass`*s (2010): Pressemitteilung Juli 2010; abgerufen am 26.10.2010 unter http://www.eurotax.com/index.php?p=mc_pressrel&l=en&n=2
- Fiedler, M.* (2007): Older People and Public Transport Challenges and Chances of an Ageing Society. In: EMTA, S. 1-116; abgerufen am 17.09.2010 unter http://www.emta.com/IMG/pdf/Final_Report_Older_People_protec.pdf
- Financial Times Deutschland* (2010a): Die Angst der Fahrer vor der kurzen Reichweite, In: Financial Times; abgerufen am 06.09.2010 unter <http://www.ftd.de/unternehmen/industrie/autoindustrie/elektroautos-die-angst-der-fahrer-vor-der-kurzen-reichweite/50057718.html>
- Financial Times Deutschland* (2010b): Deutsche Bahn düpiert die Autobranche. In: Financial Times; abgerufen am 23.09.2010 unter http://wirtschaft.t-online.de/deutsche-bahn-duepiert-die-autobranche/id_42561586/index
- Focus Online* (2010): Elektroautos nach fünf Jahren fast wertlos. Focus Online. Artikel vom 23.06.2010; abgerufen am 20.09.2010 unter http://www.focus.de/auto/news/elektroautos-nach-fuenf-jahren-fast-wertlos_aid_522566.html
- Fraunhofer IAO, PwC* (2010): Elektromobilität Herausforderung für Industrie und öffentliche Hand; abgerufen am 1.10.2010 unter <http://www.iao.fraunhofer.de/images/downloads/elektromobilitaet.pdf>
- Frost & Sullivan* (2010): Car-Sharing - der Weg in eine grünere Zukunft; abgerufen am 26.08.2010 unter <http://www.frost.com/prod/servlet/press-release.pag?docid=193332392>
- FutureFleet* (o.J.): Projekthomepage FutureFleet; abgerufen am 16.09.2010 unter http://www.futurefleet.de/index.php?option=com_content&view=article&id=44:hintergrundinformation
- Gebhardt, M.* (2010): Smart car2go Nutzen statt besitzen. Reportage. abgerufen am 27.08.2010 unter <http://ww2.autoscout24.de/reportage/smart-car2go/nutzen-statt-besitzen/44438/166389/>
- Giannakouris, K.* (2008): Ageing characterises the demographic perspectives of the European societies, Eurostat Statistics in focus; abgerufen am 06.09.2010 unter http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-08-072/EN/KS-SF-08-072-EN.PDF
- Goodman, D.J.* (2010): An Electric Boost for Bicyclists. In: The New York Times; abgerufen am 07.09.2010 unter http://www.nytimes.com/2010/02/01/business/global/01ebike.html?_r=1
- Graunitz, B.* (2009): Elektroautos ohne Kabel laden. elektroniknet.de; abgerufen am 13.09.2010 unter http://www.elektroniknet.de/automotive/news/article/24164/0/Elektroautos_ohne_Kabel_laden/
- GRS Batterien* (2007): Die Welt der Batterien Funktion, Systeme, Entsorgung, abgerufen am 22.09.2010 unter http://www.grs-batterien.de/fileadmin/user_upload/Download/Wissenswertes/Infomaterial_2010/GRS_welt_der_batterien.pdf
- Härter, H.* (2009): TÜV Süd Sicherheits-Standards der Lithium-Ionen-Batterien für zukünftige Elektro-Mobilität sehr lückenhaft. In: Elektronik Praxis; abgerufen am 11.09.2010 unter <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/stromversorgung/articles/229908/>
- Hillenbrand, Th.* (2008): E-Tankstellen-Projekt SAP Veteran will das Auto neu erfinden. In: Spiegel Online; abgerufen am 24.08.2010 unter <http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,534411,00.html>
- Hopkins, J.* (2010): Business of Green In Paris, Electric Cars May Join Rental Bikes, In: The New York Times, Special Report; abgerufen am 26.08.2010 unter <http://www.nytimes.com/2010/06/25/business/energy-environment/25iht-rbogauto.html>
- IAV (Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr GmbH)* (2010): Strom aus der Straße – Vision berührungslose Energieversorgung von Elektroautos; abgerufen am 13.09.2010 unter http://www.iav.com/de/index.php?we_objectID=15760

- IKT Projekthomepage* (o.J.): IKT für Elektromobilität auf einen Blick; abgerufen am 16.09.2010 unter http://www.ikt-em.de/de/auf_einen_blick.php
- Keilerman, F.* (2010): Sixt bietet faszinierende Mobilität mit Elektroantrieb. abgerufen am 06.09.2010 unter <http://www.sixtblog.de/pressemeldung/sixt-bietet-faszinierende-mobilitaet-mit-elektroantrieb/>
- Knie, A.; Berthold, O.; Harms, S.; Truffer, B.* (1999): Die Neuerfindung urbaner Automobilität Elektroautos und ihr Gebrauch in den U.S.A. und Europa. Berlin
- Kollosche, I.; Schulz-Montag, B.; Steinmüller, K.* (2010): E-Mobility 2025 Szenarien für die Region Berlin. TU Berlin; abgerufen am 10.09.2010 unter http://www.verkehrsplanung.tu-berlin.de/fileadmin/fg93/Dokumente/e-mobility_2025.pdf
- Krieger, A.; Krishnan, N.; Pinsley, N.* (2010): Rent a green machine? Exploring EV Rental Options. McKinsey & Company; abgerufen unter <http://autoassembly.mckinsey.com>
- Krohn, J.* (2009): Oslo macht es vor - Gratis Parken, gratis Aufladen, keine Citymaut; abgerufen am 21.09.2010 unter <http://solar-river.dasreiseprojekt.de/hauptbericht.php?id=1936&ok=13&uk=82&uuk=0&uuuk=0&typ>
- Laufmann, P.* (2009): Ich bin das Ende des Öls!; abgerufen am 24.08.2010 unter <http://www.utopia.de/magazin/shai-agassi-betterplace-elektroauto-mobilitaet-oel-peakoil-israel?p=2>
- Lohbeck, W.* (2010): Elektroautos lösen keine Probleme, ZEIT Online; abgerufen am 27.08.2010 unter <http://pdf.zeit.de/auto/2010-08/elektroauto-mobilitaet.pdf>
- Loose, W.; Mohr, M.; Nobis, C.* (2004): Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. FoPS-Projekt Nr. 77.461/2001. Band V114. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik
- Marwede, M.; Knoll, M.* (2010): Dossier Elektromobilität und Dienstleistungen, IZT Arbeitsbericht Nr. 39. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Berlin
- Matthies, G., Stricker, K.; Traencker, J.* (2010): Zum E-Auto gibt es keine Alternative. Bain & Company; abgerufen am 10.09.2010 unter http://www.bain.de/home/presse/news_archiv_2010/e-mobility-studie:_bis_2020_hat_die_h%C3%A4fte_aller_neuen_autos_einen_elektroantrieb.htm
- McKinsey & Company* (2010): Beitrag der Elektromobilität zu langfristigen Klimaschutzziele und Implikationen für die Automobilindustrie. Überblick, erste Ergebnisse und Überlegungen. abgerufen am 22.09.2010 unter http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/elektromobilitaet_klimaschutz.pdf
- Mayer, H.W.* (2010): Restwertisiko brems E-Autos. In: VDI Nachrichten; abgerufen am 26.10.2010 unter http://www.vdi-nachrichten.com/vdinachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?cat=2&id=49089
- Mortsiefer, H.* (2010): Deutschland fördert Elektroautos zu wenig. ZEIT Online. abgerufen unter <http://pdf.zeit.de/auto/2010-07/elektroauto-foerderung.pdf>
- Motavalli, J.* (2010): Blind Advocates 'Disappointed' in Nissan E.V. Sounds for Pedestrians, In: The New York Times; abgerufen am 4.08.2010 unter <http://wheels.blogs.nytimes.com/2010/06/17/blind-advocates-disappointed-in-nissan-e-v-sounds-for-pedestrians/?ref=automobiles>
- N24* (2010): Car2Go wächst in Ulm, um Ulm und jetzt auch über Ulm hinaus. N24; abgerufen am 26.08.2010 unter http://www.n24.de/news/newsitem_5953560.html
- Nyeste, P.; Wogalter, M.* (2008): On adding sound to quiet vehicles, In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. USA, S. 1747-1750
- Pearson, D.* (2010): Putting the Noise Back Into Whisper-Quiet Vehicles, In: The Wall Street Journal; abgerufen am 17.09.2010 unter http://online.wsj.com/article/SB10001424052748704738404575346671454162854.html?mod=rss_Technology
- Peugeot* (2010): Der Peugeot iOn; abgerufen am 06.09.2010 unter http://www.autohaus-sayler.de/content/file/pe_flyer_ion.pdf

- Refaat, H.* (2009): Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles, In: U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration (Hg.). Technical Report. 2010
- Rieckmann, T.* (2010): Neue Carsharing-Angebote Hersteller wappnen sich gegen Autofrust. Spiegel Online; abgerufen am 20.09.2010 unter <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,710515,00.html>
- Rinspeed* (2010): Projekthomepage Rinspeed; abgerufen am 02.09.2010 unter <http://www.rinspeed.com/pages/cars/uc/prd-uc.htm>
- Robart, R.L.; Rosenblum, L.D.* (2009): Are hybrid cars too quiet?, In: Journal of the Acoustical Society of America 125, S. 1
- RolandBerger (Hg.)* (2009): Elektromobilität: Geschäftsmodell entscheidender Erfolgsfaktor; abgerufen am 24.08.2010 unter http://www.rolandberger.at/media/pdf/Roland_Berger_PM_E-Mobility_20090902.pdf
- RolandBerger (Hg.)* (2010): Powertrain 2020 Electric Vehicles – Voice of the Customer, Powerpoint, abgerufen am 23.09.2010 unter http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Powertrain_Voice_of_customer_20100504.pdf
- Rosenblum, L.* (2008): Hybrid Cars Are Harder to Hear; abgerufen am 04.08.2010 unter http://newsroom.ucr.edu/news_item.html?action=page&id=1803
- Rosenow, J.* (2008): Reifenabrieb vergeht nicht. Auch aus Reifenabrieb entsteht Feinstaub. Doch niemand weiß, was er in der Umwelt bewirkt. abgerufen am 22.09.2010 unter <http://www.kfz-betrieb.vogel.de/fahrzeugtechnik/raederundreifen/articles/138429/>
- Schröder, T.* (2009): Elektroauto im Smart Grid. In: Pictures of the Future. Zeitschrift für Forschung und Innovation. Herbst 2009, S. 44-46., abgerufen am 15.09.2010 unter http://www.siemens.com/innovation/pool/de/Publikationen/Zeitschriften_pof/pof_herbst_2009/pof-2-2009-d-doppel.pdf
- Schröder, T.* (2010): Autos unter Strom. In: Pictures of the Future. Zeitschrift für Forschung und Innovation. Frühjahr 2010, S. 92-94; abgerufen am 14.09.2010 unter http://www.siemens.com/innovation/pool/de/Publikationen/Zeitschriften_pof/pof_fruehjahr_2010/open_innovation/elektroauto/pof_110_openinno_elektroauto.pdf
- Sovacool, B.K.; Hirsh, R.F.* (2009): Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition. In: Energy Policy 37, S. 1095-1103
- Steinkemper, H.* (2010): Wettlauf um die zweite Erfindung des Automobils – Elektromobilität als Baustein einer nachhaltigen Klima-, Energie- und Wirtschaftspolitik, In: Internationales Verkehrswesen 62, S. 17-19
- Technomar* (2010): Wie gut sind Autohandel und Werkstätten auf E-Mobilität vorbereitet? Umfrage unter Autohäusern und Werkstätten in Deutschland zur AMI 2010; abgerufen am 28.09.2010 unter http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1270791259013646480118/4_TUV_SUD_AMI2010_Auswertung%20E-Auto-Werkstaettenenumfrage%202010.pdf
- Thomas, C.* (2009): Position Statement on Quiet Electric and Hybrid Vehicles; abgerufen am 29.09.2010 unter <http://www.guidedogs.org.uk/news/position-statement-on-quiet-electric-and-hybrid-vehicles/position-statement-on-quiet-electric-and-hybrid-vehicles/>
- Toxco* (2003): Herstellerhomepage Toxco; abgerufen am 29.09.2010 unter <http://www.toxco.com/>
- TU Chemnitz* (2010): Elektroautos bestehen Großstadt-Test. Pressemitteilung vom 15.02.2010. abgerufen am 07.09.2010 unter <http://www.tu-chemnitz.de/tu/presse/2010/02.15-10.12.html>
- UBA (Umweltbundesamt) (Hg.)* (2009): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2007
- Umicore* (2009): Umicore investiert in das Recycling wiederaufladbarer Batterien, Pressemitteilung; abgerufen am 29.09.2010 unter http://www.umicore.de/presse/pv2009/show_16112009_UC_PMRHoboken.pdf
- Umweltbundesamt* (2009): Neue CO₂-Grenzwerte bei PKW; abgerufen am 21.09.2010 unter http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/verkehr/fahrzeugtechnik/PKW/co2_PKW_2008/

- Van der Zee, B.; Vaughan, A.* (2009): Nissan's plug-free electric car. [www.guardian.co.uk](http://www.guardian.co.uk/business/2009/jul/20/nissan-electric-car-plug-free); abgerufen am 13.09.2010 unter <http://www.guardian.co.uk/business/2009/jul/20/nissan-electric-car-plug-free>
- VCÖ-Forschungsinstitut* (Hg.) (2009): Potenziale von Elektro-Mobilität, VCÖ-Forschungsinstitut. Schriftenreihe „Mobilität mit Zukunft“ 2/2009. Wien
- VDI/VDE/IT* (o.J.): Projekthomepage LiBRi; abgerufen am 29.09.2010 unter <http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/batterierecycling/libri>
- VDI/VDE-IT IndiOn* (o.J.): IndiOn Kontaktloses Laden von batterieelektrischen Fahrzeugen; abgerufen am 25.08.2010 unter <http://www.pt-elektromobilitaet.de/projekte/PKW-feldversuche/indion>
- Webster, B.* (2010): EU rules may mean silent electric cars must make Star Wars noises. In: The Sunday Times; abgerufen am 08.08.2010 unter <http://www.timesonline.co.uk/tol/news/environment/article7115259.ece>
- Wietschel, M.* (2010): Die Stellschrauben der Elektromobilität: Zur gesellschaftlichen Integration der Elektroautos. PowerPoint Vortrag auf dem 1. Schweizer Forum Elektromobilität am 26-27. Januar 2010 in Luzern; abgerufen am 16.09.2010 unter <http://www.mobilityacademy.ch/Files/Wietschel.pdf>
- Wilke, G.* (2002): Öko-Effizienz und Öko-Suffizienz von professionalisiertem Car-Sharing. Eine Problemskizze. In: Linz, M.; Bartelmus, P.; Hennicke, P.; Jungkeit, R.; Sachs, W.; Scherhorn, G.; Wilke, G.; Winterfeld, U. (Hg.) (2002): Von nichts zuviel. Suffizienz gehört zur Nachhaltigkeit. In: Wuppertal Paper 125. Wuppertal
- Williams, K.M.* (2007): Oil Crisis? Savonius and Horizontal Axial Turbine Electric Powered Cars, In: A Physics and Engineering Paper, Marilyn Goodlet and Tereasa Freeman Science Investigations Instructors
- Wirtschaftsblatt* (2010): Elektroauto: Deutsche Firmen gegen Wechsel-Batterie, In: Wirtschaftsblatt; abgerufen am 16.09.2010 unter <http://www.wirtschaftsblatt.at/home/schwerpunkt/dossiers/klimaschutz/elektroauto-deutsche-firmen-gegen-wechsel-batterie-436002/index.do>
- Wissenschaft im Dialog* (o.J.): Elektromobilität – ein Konzept für die Zukunft? "Hoffnung auf eine neue Mobilitätskultur". Interview mit Georg Wilke. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH; abgerufen am 20.09.2010 unter <http://www.wissenschaft-im-dialog.de/aus-der-forschung/wissenschaft-kontrovers/elektromobilitaet/interviews/interview-wilke.html>
- Wüst, Ch.* (2009): Elektrofahrräder Rasen ohne Helm und Führerschein. Spiegel Online 14. Mai 2009; abgerufen am 26.10.2010 unter <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,624561,00.html>

8 Anhang

Tab. 2: Überblick über Modelle, Projekte, Kooperationen, formulierte Ziele und Strategien verschiedener Hersteller im Bereich der elektrischen Antriebe (inklusive Brennstoffzellen)

Hersteller	<i>Daimler</i>
Ziele (konkret)	* weltweiter Marktführer für Elektromobilität * Entwicklungsziel: Serienproduktion von Lithium-Ionen-Batterien ab 2012
derzeit vorhanden	* Lithium-Ionen Akku Know How * FCV (F-Cell) * HEV (S400 BlueHybrid)
in Planung	* Serienproduktion von Li-Ionen-Batterien ab 2012 * Serieller Hybrid (Blue Zero E-Cell Plus) * BEV Vollhybrid (Smart For Two) ab 2012
Kurzstrecken Güterverkehr	* BEV Mercedes-Benz Vito E-CELL Kleintransporter (ab 2010) * FCV Citaro Fuelcell-Hybrid Omnibus (Kleinserie voraussichtlich 2015 serienreif)
Projekte	* E-Mobility Berlin * E-Mobility Italy * Clean Energy Partnership * H2 Mobility
Forschungsorientierte Kooperation	* BYD (China) * RWE * Enel * Tesla * Evonik * eNOVA * Continental * VDA Initiativkreis
Beteiligungen	* mit 49,9% an Evonik Tochter Li-Tec * 90% "Deutsche Accumotive-GmbH & Co. KG * 10 % an Tesla * jeweils 3,1 % an Nissan & Renault
Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle	* als Kombi in der B-Klasse F-Cell und im Stadtbus Mercedes Benz Citaro FuelCELL-Hybrid * bis 2015 serienreifes FCV angekündigt * eigenes Unternehmen hierfür die De NuCellSys GmbH
Sonstiges	* weltweit erster Automobilhersteller, der Batterien für automobiler Anwendungen zur Serienreife entwickelt und ab 2012 auch produzieren und vertreiben will
Strategie	Daimler setzt auf die Optimierung der Verbrennungsmotortechnik, weitere Effizienzsteigerung bei den Hybriden und mittel- bis langfristig auf Brennstoffzellen bzw. Batteriefahrzeuge. Besonderheit: die Serienherstellung eigener Lithium-Ionen Batterien wird angestrebt.

Hersteller	<i>Opel</i>
Ziele (konkret)	* führender Hersteller bei der Entwicklung und Produktion von Elektrofahrzeugen (Strategie „e-mobility unlimited“)
derzeit vorhanden	* Autogas & Erdgas

	* FCV (Opel Hydrogen4)
in Planung	* Serieller Hybrid Opel Ampera in serienreife ab 2011 * Serieller Hybrid Opel Flextremer GT/E
Kurzstrecken Güterverkehr	* Elektro-Kleintransporter Bomobil bis Ende 2011
Projekte	* Clean Energy Partnership * Project Driveway * Projekt Öko-Stromtank-stellen * Bomobil
Forschungsorientierte Kooperation	* HSE * VDA Initiativkreis
Beteiligungen	
Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle	* als reines Brennstoffzellenfahrzeug mit dem Opel Hydrogen 4
Sonstiges	* bieten Aus-/ Weiterbildung an
Strategie	Opel setzt auf eine breite Angebotspalette mit kleinen BEVs für die Städte, HEV mit Range Extender für Stadt-Land-Fahrer und FCV für Langstrecken. Besonderheit: Opel Ampera als erster europäischer serieller Hybrid.

Hersteller	BMW
Ziele (konkret)	
derzeit vorhanden	* Vollhybrid (ActiveHybrid X6) * Mildhybrid (ActiveHybrid 7) * BEV (E-Mini)
in Planung	* Megacity Vehicle wohl in unterschiedlichen Varianten als BEV/HEV und PHEV geplant
Kurzstrecken Güterverkehr	nichts bekannt
Projekte	* Clean Energy Partnership * E-Mini Berlin * E-Mini München
Forschungsorientierte Kooperation/ Beteiligungen	* Joint Venture Johnson Controls Saft * Joint Venture SB-LiMotive * Joint Venture mit Li-Tec * Zellhersteller A123 * Vattenfall * EON * eNOVA * VDA Initiativkreis
Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle	* Aktivitäten im Dezember 2009 vorerst eingestellt
Sonstiges	
Strategie	BMW hat sich für das Elektroauto als zukunftssträchtigste Antriebstechnologie entschieden. Bei Wasserstoffantrieb und Brennstoffzelle soll lediglich die Grundlagenforschung im Auge behalten werden. BMW will speziell entwickelte Elektroautos anbieten. Range

	Extender werden als sinnvoll angesehen.
--	---

Hersteller	VW
Ziele (konkret)	* bis 2018 sollen E-Autos 3 % aller verkauften VWs ausmachen
derzeit vorhanden	* SunFuel (SunDiesel) * Parallel Hybrid (Touareg) * Erdgas & Autogas
in Planung	* ab 2013 Serienproduktion von 4 Elektroautos (Golf-Stromer, Elektro-Up, E-Jetta in und Laida) * Hybrid Jetta (2012) * Plug-In-Hybrid (Golf TwinDrive) Prototyp * 2 DieselHybrid-Studien
Kurzstrecken Güterverkehr	nichts bekannt
Projekte	* Clean Energy Partnership * Biomasse for SunFuel * Flottenversuch Elektromobilität * Initiative Brennstoffzelle
Forschungsorientierte Kooperation/ Beteiligungen	* BYD * Niedersachsen, Brandenburg & Hessen * Sanyo (japanischer Batteriehersteller) * VARTA Microbattery * EON * Toshiba * eNOVA * VDA Initiativkreis
Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle	* 2 Prototypen, unklar wann marktreif
Sonstiges	* Aus-/ Weiterbildung im Umgang mit Brennstoffzellen
Strategie	Volkswagen hat sich einen klaren Einführungsplan für E-Traktion aufgesetzt, und gibt, als einziger deutscher Konzern, eine quantitative Zielvorgabe von 3 % für seinen Elektrowagenanteil an der eigenen Produktpalette bis 2018 an. Qualitativ gilt das Ziel: E-Mobilität in Großserie und Marktführerschaft. Der Hybrid soll aus der Nische geholt werden und konzernweit in Serienfahrzeugen eingesetzt werden. Das Verbesserungspotential von Verbrennungsmotoren soll konsequent ausgeschöpft werden.

Hersteller	Audi
Ziele (konkret)	
derzeit vorhanden	* Syn Fuel und Sun Fuel (zusammen mit VW)
in Planung	* Audi Q5 Hybrid (HEV Ende 2010) * e-tron 2012 (BEV) * Audi A8 Hybrid (HEV Parallel-Hybrid) Ende 2011 * Audi A1 e-tron PHEVs als Serieller Hybrid; Markteinführung unbekannt
Kurzstrecken Güter-	nichts bekannt

verkehr	
Projekte	* Projekt Flüssiggas China * Projekthaus e-performance * E3Car
Forschungsorientierte Kooperation/ Beteiligungen	* eNOVA * Partner von Desertec-Projekt * VDA Initiativkreis
Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle	* FCV Audi A2H2 (Prototyp, Marktstart unklar)
Sonstiges	* Aus-/ Weiterbildung im Umgang mit Brennstoffzellen
Strategie (Audi)	Audi verfolgt die Strategie, jede Technologie abhängig von Baureihe und Markt dort einzusetzen, wo sie Kunden den größten Nutzen bringt. Die Stärken des Elektroautos sieht Audi eindeutig in der Stadt. Neben Hybriden und Elektrofahrzeugen baut Audi langfristig seine Kompetenz für Antriebskonzepte mit Brennstoffzellen- und Wasserstoffantriebe weiter aus.
Strategie (Porsche)	Aufgehängt unter Porsches „Intelligent Performance“ Strategie soll der Elektroantrieb eine wachsende Rolle übernehmen. Porsche hat mit dem Cayenne S Hybrid einen Parallel-Hybriden in Serie in der Modellpalette und möchte diese Technik in weiteren Modellen fortführen. Beim Thema FCV klafft bei Porsche eine Lücke.

Hersteller	<i>Ford Deutschland</i>
Ziele (konkret)	
derzeit vorhanden	
in Planung	* e-Ka BEV (Prototyp) * ersten seriellen Plug-in-Brennstoffzellen-Hybrid (Prototyp) * BEV ab 2011 * Kleintransporter BEV ab 2010 in USA (Ford Tourneo Connect) * Lieferwagen BEV 2011 in Deutschland (Ford Transit Connect) * Ford Focus BEV (nicht vor 2012)
Kurzstrecken Güterverkehr	* Stadtlieferwagen Transit Connect BEV derzeit in Köln im Praxistest (Pilotprojekt), ab 2011 in Serie
Projekte	* Clean Energy Partnership * colognE-mobil (Schwerpunkt: City-Logistik)
Forschungsorientierte Kooperation	* VDA Initiativkreis * Magna * Tanfield Group (Smith Electric Vehicles) * Azure Dynamics (amerikanischer Elektro-Hybrid-Antriebeshersteller) * RheinEnergie
Beteiligungen	* mit 11 % an Mazda
Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle	* Forschung ruht, Joint Venture mit Daimler "DeNuCellSys" 2009 verlassen
Sonstiges	
Strategie	Ford setzt klar auf BEVs und Hybride, letztere in den USA schon seit Jahren auf dem Markt, weil Diesel hier nicht populär. Die Brennstoffzellen-Forschung wurde erst einmal eingestellt (Joint Venture hierzu mit Daimler 2009 verlassen). Konzentration auf zeitnahe-

	re Technologien (Elektroantrieb, Hybridtechnologie und Verbesserung des Verbrennungsmotors)
--	---

Hersteller	<i>Renault/ Nissan</i>
Ziele (konkret)	* bis zum Jahr 2020 einen Verkaufsanteil von 10 % E-Autos
derzeit vorhanden	* Schnellladetechnik & Akkutausch (beim Renault Fluence Z.E.)
in Planung	* BEV Nissan Leaf (ab 2011 in Deutschland) * BEV Renault Kangoo Z.E. (voraussichtlich 2011 in Deutschland) * BEV Renault Fluence Z.E. (2011 Westeuropa) * FCV Grand Scénic ZEV H2 (Prototyp) * BEV Renault Zoe Z.E. (ab 2012) * BEV Renault Twizy Z.E. 2-Sitzer (ab 2012)
Kurzstrecken Güterverkehr	* Kleintransporter BEV Renault Kangoo Rapid ab 2011 * Kleintransporter BEV Renault Kangoo be bob Z.E. ab 2011
Projekte	* E-Moving (Italien) * Smartcity (Spanien)
Forschungsorientierte Kooperation	* EDF * viele Länder-/ Städtepartnerschaften * Oak Ridge National Lab (USA) * Schneider Electric (Energiemanagement) * Electricity Supply Board (irischer Energieversorger) * A2A (italienischer Energieversorger) * Project Better Place * Joint Venture mit CEA
Beteiligungen	* 51 % an Automotive Energy Supply Corporation (AESC) * 3,1 % an Daimler
Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle	* ein Prototyp unklar wann serienreif
Sonstiges	* geplant: Ausbildung von Elektrofahrzeugtechnikern im Rahmen von "Smartcity"
Strategie	Stark vernetztes, weltweites Netz an Elektro-Kooperationen. Unternehmen strebt Marktführerschaft bei Elektroautos an und nennt auch eine quantitative Zielmarke: Verkaufsanteil elektrischer Fahrzeuge von 10 % bis 2020. Außerdem bereits große Stückzahlen von Elektroautos verkauft (100.000 an Projekt „Better Place“). Haben die Allianz Renault-Nissan bewusst geschmiedet, um ihre Elektroautostrategie zu voranzubringen.

Hersteller	<i>PSA Peugeot Citroen</i>
Ziele (konkret)	
derzeit vorhanden	* BEV's Peugeot Ion & Citroën C-Zéro (ab Winter 2010) beide auf Basis des Mitsubishi iMiEv * BEV Citroen (Sommer 2010) * BEV Berlingo First Electrique (Herbst 2010 auf IAA vorgestellt)
in Planung	* Diesel-Parallel Mild-Hybride in Serie geplant ab 2011 (vier Modelle) * PHEV (3008 Hybrid4) in Serie ab 2011
Kurzstrecken Güterverkehr	* Transporter BEV Berlingo First Electrique (ab Sommer 2010)

Projekte	<ul style="list-style-type: none"> * Mu by Peugeot (Mobilitätsdienstleistungs-Pilotprojekt) * FiSyPAC (Brennstoffzellenentwicklung) * GENEPAAC (Brennstoffzellenforschung)
Forschungsorientierte Kooperation/ Beteiligungen/ Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle	<ul style="list-style-type: none"> * Bosch * Mitsubishi * CEA (Französischen Zentrum für Atomenergie) * Johnson Controls-Saft (französischer Batteriehersteller) * EDF * Venturi Automobiles (Sportwagenhersteller aus Monaco)
Sonstiges	* geplant: Ausbildung von Elektrofahrzeugtechnikern im Rahmen von "Smartcity"
Strategie	PSA Peugeot Citroen setzen stark auf Diesel-Hybridtechnologie, vier Serienmodelle ab 2011 geplant. Für ihre Entwicklung besteht strategische Partnerschaft mit Bosch. Im reinen Elektrobereich setzen sie auf kleine BEVs für die sie ein all-inclusive leasing (Auto, Akku und Wartung) anbieten. Reine Elektroautos sehen sie nur für die Stadt, die Zukunft in Plug-in-Hybriden mit Diesel. Bei den Ottomotoren planen sie neue Dreizylinder-Motoren mit geringerem Hubraum. Besonderheit: nutzen bislang Nickel-Metall-Hydrid Akkus.

Hersteller	<i>Toyota</i>
Ziele (konkret)	* kommerzielle Einführung von Brennstoffzellen-Hybridfahrzeugen bis zum Jahr 2015
derzeit vorhanden	<ul style="list-style-type: none"> * Powersplit-Hybrid (Toyota Prius III, Auris Hybrid) * der FCVH erstes Klein-Serienmodell eines FCV weltweit (2002)
in Planung	<ul style="list-style-type: none"> * Prius PHEV (ab 2012) * mehrere Generationen von FCV-Prototypen * FCVH adv Serienproduktion 2015 geplant * BEV Toyota R4V4 (ab 2012) * FT-EV II (ab 2012 in den USA)
Kurzstrecken Güterverkehr	* Toyota Coaster Minibus mit Flüssiggasantrieb (in Asien und Afrika im Einsatz)
Projekte	<ul style="list-style-type: none"> * Feldversuch Straßburg * Clean Energy Partnership * BeMobility * USA Fuel Cell Project * Japan Fuel Cell Project
Forschungsorientierte Kooperation	<ul style="list-style-type: none"> * Tesla * EDF * ADEME * Deutsche Bahn
Beteiligungen	* Beteiligung an Tesla mit ca. 3 %
Aktivitäten hinsichtlich Brennstoffzelle/ Sonstiges	* entwickelt eigene wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen und Hochdruckwasserstoffspeicher
Strategie	Toyota setzt auf die Voll-Hybrid-Technologie und möchte diese bis 2020 flächendeckend in sein europäisches Modellprogramm einführen. Im Bereich der Hybridtechnik gehört auch der Brennstoffzellenantrieb dazu. Toyota setzt auf dem Weg zu reinen Elektrofahrzeugen auf den Plug-In als Weiterentwicklung des Hybrid-Konzepts, führt parallel aber

	auch die Entwicklung am Elektroantrieb fort. Zukünftig sollen beide Technologien in Brennstoffzellen-Hybrid-Autos vereint werden.
--	---

Quelle: eigene Zusammenstellung nach Online-Recherchen im August/ September 2010

Autorenverzeichnis

Kaiser, Oliver S. Dipl.-Phys.; Zukünftige Technologien Consulting (ZTC), VDI Technologiezentrum GmbH, VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf; Tel.: + 49 (0) 211 / 62 14 - 207; Fax: + 49 (0) 211 / 62 14 - 139; E-Mail: kaiser@vdi.de; Internet: www.zt-consulting.de

Meyer, Sarah. Dipl.-Geoökol.; Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 39 93; Fax: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 48 06 ; E-Mail: sarah.meyer@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>

Schippl, Jens. Dipl.-Geograph; Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe; Tel.: +49 (0) 721 / 608 - 23994; Fax: +49 (0) 721 / 608 - 24806; E-Mail: jens.schippl@kit.edu; Internet: <http://www.kit.edu>

Kontakt Daten

Dipl.-Phys. Oliver S. Kaiser

Tel.: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 30 07

Fax: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 48 06

E-Mail: michael.decker@kit.edu

ITAS – Institutsprofil und Forschungsprogramm

Das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) erarbeitet und vermittelt Wissen über die Folgen menschlichen Handelns und ihre Bewertung in Bezug auf die Entwicklung und den Einsatz von neuen Technologien. Das ITAS erforscht wissenschaftliche und technische Entwicklungen in Bezug auf systemische Zusammenhänge und Technikfolgen. Umweltbezogene, ökonomische, soziale sowie politisch-institutionelle Fragestellungen stehen dabei im Mittelpunkt. Wesentliche Ziele sind die Orientierung der Forschungs- und Technikpolitik, die Einflussnahme auf die Gestaltung sozio-technischer Systeme im Hinblick etwa auf Kriterien nachhaltiger Entwicklung sowie die Durchführung diskursiver Verfahren zu offenen oder kontroversen technologiepolitischen Fragen. Die Ergebnisse der Forschung und Beratung sind öffentlich.

Für weitere Informationen: <http://www.itas.kit.edu>

Anschrift

Institut für Technikfolgenabschätzung
und Systemanalyse (ITAS)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe

Leitung: Prof. Dr. Armin Grunwald

Sekretariat: Bettina Schmidt-Leis

Tel.: + 49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 25 01

Fax: + 49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 48 06

