

ELEKTROMOBILITÄT – CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Mit der Elektromobilität werden in Gesellschaft und Politik große Hoffnungen verbunden – auf dem langen Weg zu einer elektromobilen Gesellschaft sind aber noch etliche Herausforderungen zu lösen, die oftmals unterschätzt werden. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über den aktuellen technischen Entwicklungsstand, über ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Dimensionen sowie interessante Erstmärkte und Entwicklungsszenarien dieser Form der Mobilität.

Die Elektromobilität gilt gemäß dem gleichnamigen Nationalen Entwicklungsplan der Bundesregierung als wesentliches Element eines zukunftsfähigen Verkehrssystems. Mit einem zunehmenden Umstieg auf elektrisch angetriebene Fahrzeuge ist das Ziel verbunden, die Abhängigkeit Deutschlands von Ölimporten sowie den Verbrauch fossiler Ressourcen zu reduzieren, sowohl global (CO₂) als auch lokal wirksame Emissionen (Schadstoffe, Lärm) zu minimieren und zudem ein multi- und intermodales Mobilitätsverhalten zu fördern. Auch in wirtschaftlicher Hinsicht bestehen große Hoffnungen. Die Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, im internationalen Wettbewerb zum Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität zu werden, um so die starke deutsche Stellung im Automobilbau, die damit verbundenen Arbeitsplätze und Exportchancen sowie die heimische Wertschöpfung auch zukünftig zu sichern. Bis 2020 sollen nach dem Willen der Bundesregierung mindestens 1 Mio. Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren (Bundesregierung 2011).

Der Vision einer elektromobilen Gesellschaft, die dazu beitragen könnte, die zuvor erwähnten Probleme heutiger Verkehrssysteme zu lösen, steht jedoch eine Reihe von Herausforderungen im Wege: So sind noch diverse technische und ökonomische Fragen insbesondere im Bereich der Speichertechnik, aber auch hinsichtlich der Infrastruktur und der Integration in das Energiesystem zu lösen. Nicht zuletzt stellt die Nutzerakzeptanz eine zentrale Voraussetzung für eine erfolgreiche Verbreitung batteriebetriebener Fahrzeuge dar. Ange-

sichts der mit der Elektromobilität verbundenen großen Hoffnungen sind die folgenden zentralen Fragen Gegenstand kontroverser Diskussionen: Wie kann eine umfassende Verbreitung von Elektrofahrzeugen erreicht werden? Was sind interessante und tragfähige Erstmärkte? Unter welchen Bedingungen sind Elektrofahrzeuge wirtschaftlich einsetzbar? Und wie ökologisch ist die Elektromobilität?

Im Folgenden werden einige Ergebnisse des demnächst erscheinenden TAB-Berichts »Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt« vorgestellt. Untersucht wird die ökologische, ökonomische und soziale Dimension der Integration von Elektrofahrzeugen in die heutigen Verkehrssysteme. Der Bericht liefert damit eine Grundlage für politische Handlungsoptionen. Elektromobilität bezieht sich dabei sowohl auf vollständig elektrisch betriebene Batteriefahrzeuge als auch auf sogenannte Plug-in-Hybride bzw. Range Extender, die neben einem Verbrennungsmotor über einen Elektromotor mit extern ladbarer Batterie verfügen und somit ebenfalls rein elektrisch fahren können.

TECHNOLOGISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Für eine erfolgreiche, umfassende Markteinführung von Elektrofahrzeugen müssen noch unterschiedliche technische Herausforderungen gelöst werden. Beispielsweise ist es notwendig, Elektromotoren so zu verbessern, dass sie den Nutzeranforderungen hinsicht-

lich Qualität, Preis und Leistung genügen, die On-Board-Leistungselektronik muss leichter und effizienter werden, und Schnellladesysteme sowie neue technische Ansätze zur Klimatisierung und Wärmebereitstellung in der Fahrgastzelle sind zu entwickeln. Weiterhin gilt es, die Fahrzeugkonstruktion neu zu gestalten, wobei Aspekte wie Leichtbau eine wichtige Rolle spielen. Die Schlüsseltechnologie ist jedoch – aufgrund ihres hohen Anteils an den Fahrzeugkosten, vor allem aber, weil sie die Reichweite der Fahrzeuge limitiert – die Batterie.

Die Lithium-Ionen-Batterie ist bereits heute aufgrund ihrer hohen Energiedichte im Vergleich zu anderen verfügbaren Batteriesystemen die Technologie der Wahl für Elektrofahrzeuge. Um eine breite Markteinführung zu ermöglichen, müssen die Kosten mindestens auf 250 Euro/kWh (bezogen auf das Batteriesystem) gesenkt werden. Zusätzlich müssen die kalendarische Lebensdauer von sieben auf über zehn Jahre erhöht, Sicherheitsfragen gelöst und die gewichts- sowie die volumenbezogene Energiedichte weiter optimiert werden. Aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften werden reine Elektrofahrzeuge mit Lithium-Ionen-Batterien jedoch auch künftig bei Weitem nicht an die Reichweiten und Betankungszeiten konventioneller Pkw herankommen (Tab.).

Eine wesentliche Herausforderung für eine langfristig hohe Marktdurchdringung ist die Entwicklung der nächsten Batteriegenerationen. Mit Lithium-Ionen-Batterien könnte die Energiedichte um den Faktor 2 im Vergleich zu heutigen Batterien gesteigert werden. Mit künftigen Generationen von Batterien wie Lithium-Schwefel- oder Metall-Luft-Batterien (insbesondere Lithium-Luft) wären Verbesserungen um den Faktor 3 bis 7 möglich. Internationale Batterieroadmaps rechnen mit Steigerungen um den Faktor 2 bis 3 bis 2020

TAB. VERGLEICH VON BENZIN-, PLUG-IN-HYBRID- UND REINEN BATTERIEFAHRZEUGEN FÜR DEN PERSONENVERKEHR

Eigenschaft	Benzin-fahrzeug	Plug-in-Hybrid mit Lithium-Ionen-Batterie	Batteriefahrzeug mit Lithium-Ionen-Batterie
Energieinhalt (Tank/Batterie)	445 kWh	200 u. 10 kWh	24 kWh
Volumen	50 l	25 u. 50 l	> 100 l
Gewicht	37 kg	20 u. 100 kg	150–250 kg
Reichweite	> 700 km	50 u. 600 km	< 150 km
Tank-/Ladehäufigkeit *	alle 2 Wochen	täglich u. alle 2 Wochen	alle 3 Tage voll oder 30 % jeden Tag
Tank-/Ladedauer	3 Minuten	3 Minuten u. 2 Stunden	0,5–8 Stunden

* bei 40 km/Tag

Eigene Darstellung

sowie 5 bis 7 ab 2030 (Thielmann et al. 2012). Damit wären langfristig Reichweiten heutiger Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren erreichbar. Allerdings befinden sich diese Technologien noch im Bereich der Grundlagenforschung, mit der Markteinführung rechnen Experten in frühestens 12 bis 15 Jahren.

Die Eigenschaften der heute kommerziell verfügbaren Batterien führen dazu, dass reine Batteriefahrzeuge in den nächsten Jahren nur die Mobilitätsbedürfnisse bestimmter Marktsegmente befriedigen können. Deshalb stehen zurzeit verstärkt Plug-in-Hybride im Fokus, die den Einsatzbereich heutiger Pkw fast vollständig abdecken und Befürchtungen der Nutzer hinsichtlich der eingeschränkten Reichweite entkräften können. Die Nationale Plattform Elektromobilität rechnet entsprechend für 2020 mit mehr Plug-in-Hybriden als reinen Batteriefahrzeugen. Plug-in-Hybride stellen wegen der Kombination aus mechanischem und elektrischem Antrieb die anspruchsvollste Form der Elektromobilität dar. Hier eröffnet sich eine Chance für die deutsche Automobilindustrie, da sie in diesen Bereichen bereits über große Kompetenzen ver-

fügt. Anders sieht es bei den Batteriezellen aus, die einen erheblichen Teil der Wertschöpfung bei Elektrofahrzeugen ausmachen. In diesem Feld weist Deutschland kaum wissenschaftliche oder industrielle Kompetenzen auf, und es wird viel Geld und Mühe kosten, diese wieder aufzubauen. Offen ist, ob der gegenwärtige Vorsprung asiatischer Länder bei Lithium-Ionen-Batteriezellen überhaupt aufgeholt werden kann. Aus heutiger Sicht erscheinen deshalb Investitionen in die nächste Batteriezellgeneration erfolversprechender zu sein. Mittel- bis langfristig besteht für Deutschland durchaus die Chance, diesen Markt über eine bereits sehr gut aufgestellte Chemie- und Materialforschung zu erschließen. Bei der Produktion des Batteriesystems (Modulproduktion und Packzusammenstellung mit Regelungselektronik und Mechanik) kann Deutschland eventuell auch schon kurzfristiger relevante Marktanteile gewinnen.

Insgesamt wird die durch die Elektromobilität veränderte Wertschöpfung im Automobilbereich sehr arbeitsteilig bleiben. Allerdings antizipieren bisher vor allem die Automobilherstel-

ler sowie die großen Systemlieferanten die Veränderungen und reagieren aktiv durch angepasste Ausrichtung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie durch Eingehen neuer Partnerschaften. Auf tieferen Ebenen der Zuliefererpyramide ist das Aktivitätsniveau bis dato noch sehr wenig ausgeprägt. Daher ist es notwendig, diese zumeist kleinen und mittelständischen Unternehmen für den anstehenden Wandel und die daraus resultierenden Chancen und Risiken zu sensibilisieren.

ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG DER ELEKTROMOBILITÄT

Eine ambitionierte Klimapolitik und Bemühungen, den Verbrauch fossiler Energieträger wie auch die lokalen Emissionen zu reduzieren, sind die weltweit wichtigsten Treiber der Elektromobilität. Umfangreiche Studien – z. B. des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) oder der International Energy Agency (IEA) – zeigen, dass bei ambitionierten Klimaschutzziele der Verkehrssektor seine Treibhausgasemissionen deutlich reduzieren muss (IEA 2010; Kahn Ribeiro et al. 2007). Dabei ist gleichzeitig ein starkes Wachstum der Verkehrsleistung durch die wirtschaftliche Entwicklung und die weltweite Zunahme der Bevölkerung zu schultern.

Wenn das 2-°C-Ziel zur Begrenzung der Erderwärmung noch erreicht werden soll, müssen die spezifischen CO₂-Emissionen von Pkw auf rund 20 g CO₂/km im Jahr 2050 gesenkt werden. Solch ein Wert ist mit benzin- und dieselbetriebenen Pkw aufgrund des sogenannten Carnot-Wirkungsgrades technisch nicht erreichbar (zum Vergleich: Von der Quelle bis zum Antriebsrad gerechnet liegen die CO₂-Emissionen benzinbetriebener Pkw derzeit bei durchschnittlich rund 150 g/km). Deshalb kommen entsprechende Studien (McKinsey 2009; Schade 2011;

Skinner et al. 2010) fast einhellig zu dem Schluss, dass der motorisierte Individualverkehr langfristig weitgehend auf Elektrofahrzeuge (einschließlich Brennstoffzellenfahrzeuge) umgestellt werden muss. Auch die nationalen Zielsetzungen, bis 2050 die Treibhausgasemissionen um 80 % gegenüber 1990 und die Endenergienachfrage des Verkehrs um 40 % zu senken, sind allein durch Verbesserung von Verbrennungsmotoren mit fossilen Energieträgern nicht zu erreichen. In aktuellen Diskussionen wird diese Langfristperspektive mitunter aus den Augen verloren, indem Elektrofahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Pkw allein unter Berücksichtigung aktueller Gegebenheiten bewertet und die langfristig unbestreitbaren Vorteile der Elektromobilität vernachlässigt werden.

Einige Umweltverbände weisen in diesem Zusammenhang kritisch darauf hin, dass die CO₂-Bilanz von Elektrofahrzeugen keineswegs besser als die heutiger konventioneller Pkw ausfalle. Bei Berechnung auf Basis der durchschnittlichen CO₂-Emissionen des heutigen deutschen Kraftwerksparks ist die Bilanz von Elektrofahrzeugen tatsächlich kaum besser als die von Verbrennungsfahrzeugen vergleichbarer Größenklassen – insofern ist diese Kritik berechtigt. Eine deutlich positive Treibhausgasbilanz kann mit der Elektromobilität jedoch erreicht werden, wenn CO₂-arme oder -freie Energiequellen, z. B. erneuerbare Energien, verwendet werden. Durch den in Deutschland beschlossenen beschleunigten Umbau des Energiesystems in Richtung erneuerbarer Energieträger verbessert sich die CO₂-Bilanz für Elektrofahrzeuge sukzessive; spätestens ab 2020 weisen sie eine deutlich bessere Bilanz im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen auf. Dies gilt für Elektrofahrzeuge jeden Baujahres, sodass sich eine regenerativere Stromproduktion unmittelbar auf die CO₂-Bilanz des Verkehrssektors niederschlägt. Auch kurzfristig wäre

eine positive Bilanz zu erreichen, wenn sichergestellt werden könnte, dass der Strom für den Fahrbetrieb von Elektrofahrzeugen nur aus erneuerbaren Energiequellen stammt. Dies wäre mengenmäßig kein Problem, da die bis 2020 angestrebte 1 Mio. Elektrofahrzeuge die Stromnachfrage in Deutschland nur um ca. 0,4 % erhöhen würde. Da diese Fahrzeugmenge allerdings auch nur ungefähr 3 % des derzeitigen Pkw-Bestands ausmacht, wäre der entsprechende Beitrag zur Treibhausgasminde- rung bis 2020 sehr gering. Kurzfristig müssten also andere Maßnahmen wie die Stärkung des Rad- und Fußverkehrs, der Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs oder die weitere Verbesserung von Verbrennungsmotoren greifen, um die CO₂-Emissionen des Verkehrs maßgeblich zu senken.

Im Zusammenhang mit der Bewertung der CO₂-Bilanz von Elektrofahrzeugen ist zudem anzumerken, dass die Herstellung der Batterien sowie der Abbau der benötigten Rohstoffe einen höheren Energieaufwand im Vergleich zur Herstellung von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren mit sich bringen. In aktuellen Studien wird darauf hingewiesen, dass der CO₂-Ausstoß bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen verglichen mit der Produktion konventioneller Pkw je nach Batterietyp bis zu doppelt so hoch ausfallen kann (Held/Baumann 2011; Helms et al. 2011). Diesen ökologischen Rücksack bauen die Fahrzeuge nur dann schnell und deutlich ab, wenn sie viel fahren. Dies bedeutet wiederum, dass elektromobile Pkw heutiger Bauart zumindest in Großstädten bei individueller Nutzung in der Regel ökologisch nicht sinnvoll sind, da sie üblicherweise nicht die dafür erforderliche jährliche Fahrleistung erreichen.

Zu einer ökologischen Bewertung der Elektromobilität gehört neben der Betrachtung der CO₂-Emissionen auch die anderer, lokal wirksamer Emis-

sionen wie Feinstaub oder Ozonvorläufersubstanzen. In dieser Hinsicht könnte die Elektromobilität zu einer deutlichen Umweltentlastung beitragen. Elektromobile fahren lokal quasi emissionsfrei, da mit Ausnahme der Partikelfreisetzung durch Brems- und Reifenabrieb Luftschadstoffemissionen wie Stickoxide und Feinstaub entweder gar nicht oder, sofern Strom aus Verbrennungskraftwerken eingesetzt wird, nur am Ort der Stromerzeugung anfallen. Auch der Verkehrslärm, der die Lebenserwartung und -qualität entlang viel befahrener Straßen beträchtlich reduzieren kann, wird durch Elektromobile deutlich verringert. Dies gilt vor allem in Wohngebieten im Bereich der Fahrgeschwindigkeiten bis 40 km/h. Die geringe Lärmemission von Elektrofahrzeugen wird von (potenziellen) Nutzern durchgängig als wichtiger Vorteil erwähnt und ist ein bedeutsames Kaufargument. Allerdings wird auch darauf hingewiesen, dass Elektro- und Hybridfahrzeuge dadurch insbesondere für Kinder, ältere Menschen, Sehbehinderte und Blinde eine höhere Unfallgefahr mit sich bringen könnten. Vor diesem Hintergrund wird das Thema künstliche Geräusche intensiv und kontrovers diskutiert. Eine schnell umsetzbare Maßnahme mit positivem Effekt sowohl auf die Verkehrssicherheit als auch die Lärmbelastung durch alle Fahrzeugarten wäre ein generelles Tempolimit von 30 km/h in Innenstädten. Auch die Entwicklung neuer Sicherheitstechnologien erscheint sinnvoll, da künftig auch konventionelle Pkw durch technologische Weiterentwicklung immer geräuschärmer werden. Die Einführung permanenter künstlicher Geräusche sollte, wenn überhaupt, nur als Übergangslösung in Betracht gezogen werden. Besser geeignet wäre die sensorisch gesteuerte, temporäre Erzeugung von (Warn-)Geräuschen für Fußgänger und Radfahrer.

Bei der ökologischen Bewertung von Elektroautos spielen schließlich auch

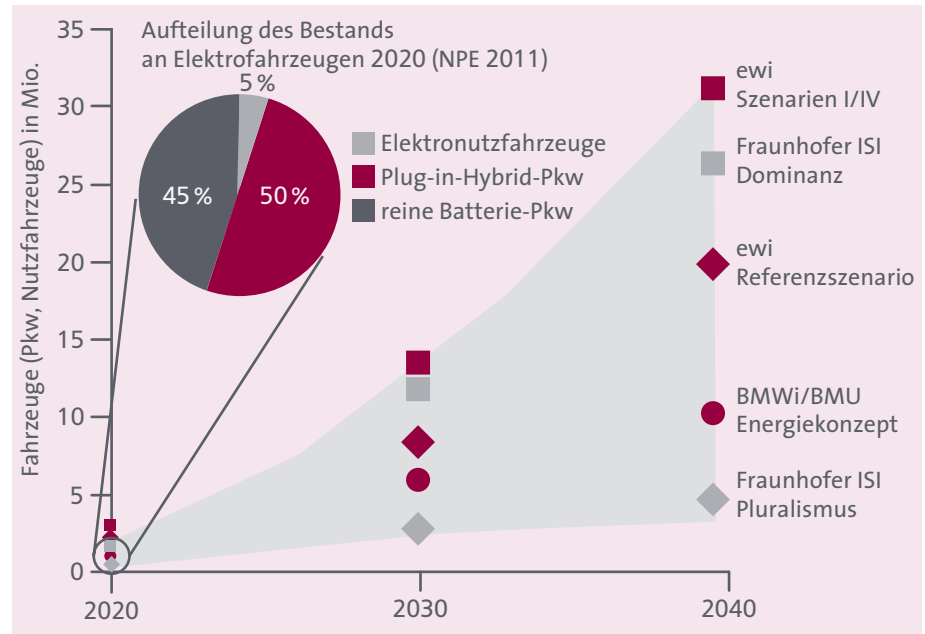
Umweltbelastungen durch den Abbau und Verbrauch kritischer Rohstoffe wie z.B. Lithium und Kupfer für die Batterieherstellung eine Rolle. Hierbei gibt es jedoch noch viele Unsicherheiten und großen Forschungsbedarf. Prognosen des weltweiten Bedarfs, der geologischen Reichweite und der Recyclingfähigkeit von Lithium und Kupfer zeigen, dass eine echte Verknappung zwar nicht zu befürchten ist, gleichwohl aber die Preise durch die stark steigende globale Nachfrage und die Konzentration auf wenige Lieferländer bis 2030 merklich anziehen könnten. Quantitative Aussagen können hier jedoch, nicht zuletzt wegen des hohen spekulativen Anteils der Rohstoffpreise, kaum getroffen werden. Recyclingverfahren, »Urban Mining« – auf heutigen Deponien ist die Konzentration von manchen Stoffen höher als in bestimmten Abbauregionen – und die Entwicklung von Substituten sowie einer Rohstoffstrategie sind in diesem Zusammenhang wichtige Zukunftsthemen. Bei einigen der Seltenen Erden sieht die Situation anders aus – hier könnte es kurz- bzw. mittelfristig zu einer Verknappung kommen.

Die Auswirkungen und Umweltbilanzen heutiger bzw. zukünftiger Recyclingverfahren sind aufgrund mangelnder Daten und Studien aus heutiger Sicht schwer zu beurteilen. Grundsätzlich erscheint ein Recycling aber unerlässlich, ebenso wie die Setzung von Standards bei der Gewinnung der Rohstoffe, um negativen Auswirkungen auf CO₂-Emissionen, Umweltqualität sowie Sozialstandards in den Gewinnungsländern entgegenzusteuern.

MARKTENTWICKLUNG UND ZIELGRUPPEN

Zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung des gesamten Elektromobilitätsmarktes in Deutschland wurden bereits diverse Szenarien entwickelt

ABB. BESTANDSENTWICKLUNG VON PLUG-IN-HYBRIDEN UND REINEN BATTERIEFAHRZEUGEN GEMÄSS VERSCHIEDENEN STUDIEN



Eigene Darstellung

(Abb.). In den letzten Jahren wurden in nicht wenigen Studien ein kurzfristiger Markterfolg prognostiziert und eine schnelle, hohe Marktpenetration in den nächsten Jahren mit bis zu 7 Mio. Elektrofahrzeugen bis 2020 in Deutschland vorausgesagt. Diese sehr optimistischen Prognosen stellen sich zunehmend als unrealistisch heraus. Die Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen sind derzeit in Deutschland, aber auch weltweit noch sehr niedrig und bewegen sich im Promillebereich des gesamten Fahrzeugabsatzes. Gemäß aktueller Studienergebnisse dürfte die Marktpenetration in naher Zukunft eher moderat verlaufen, sodass sich das Ziel der Bundesregierung von mindestens 1 Mio. Elektrofahrzeugen bis 2020 als ehrgeizig erweist. Bei weiter steigenden Öl- und Kraftstoffpreisen und deutlich reduzierten Batterie- bzw. Anschaffungskosten von Elektrofahrzeugen sind aber langfristig hohe Marktanteile auch im Bereich heutiger Pkw-Konzepte durchaus realistisch.

Die genauen Anforderungen von Kundenseite sind schwierig zu bestimmen, da sich elektrisch betriebene Fahrzeuge heute kaum auf dem Markt befinden. Dennoch scheinen einige Voraussetzungen zentral zu sein, damit aus potenziellen Kunden, die im Folgenden genauer charakterisiert werden, auch tatsächlich Käufer werden. Dazu gehören die Reduzierung des Anschaffungspreises, eine größere Auswahl an Modellen mit gängigen Qualitäts- und Komfortstandards, ein Angebot an attraktiven Mobilitäts- und Geschäftsmodellen, Testmöglichkeiten und nicht zuletzt eine transparente positive Umweltbilanz.

Der generell hohe Anteil gewerblicher Käufer an den Pkw-Neuzulassungen von ca. 60% sowie die für die Elektromobilität auch in wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht günstigen Fahrprofile einiger Branchen sprechen für eine große Bedeutung kommerzieller Nutzer für die Verbreitung der Elektromobilität in den kommenden Jahren.

Dies deutet sich bereits in den aktuellen Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen an: 2011 betrug der Anteil gewerblicher Käufer 90 %. Vielversprechend erscheinen vor allem gewerbliche Flotten mit einer höheren Jahresfahrleistung, aber regelmäßigen, planbaren Touren. Hier kann der höhere Fahrzeugpreis durch die deutlich niedrigeren Kilometerkosten der E-Fahrzeuge kompensiert werden. Interessante Einsatzgebiete sind beispielsweise Post- und Paketdienste.

Aber auch unter den privaten Käufern lassen sich aussichtsreiche Zielgruppen ausmachen. Eine Betrachtung der Mobilitätsprofile von Pkw-Nutzern zeigt, dass die große Mehrheit der Fahrten mit reinen Batteriefahrzeugen problemlos zu bewältigen wäre: So könnten etwa 60 % aller Pkw-Fahrer alle Fahrten einer typischen Woche abdecken, auch wenn sie ihre Batterien ausschließlich zu Hause an einer normalen Schukosteckdose laden (Kley 2011). Trotz der niedrigeren Betriebskosten werden aber aufgrund der höheren Anschaffungskosten und des ökologischen Rucksacks aus dem Herstellungsprozess auch in den kommenden Jahren mittlere und hohe Fahrleistungen für einen wirtschaftlich und ökologisch sinnvollen Einsatz von Elektrofahrzeugen erforderlich sein. Vor diesem Hintergrund kämen im Bereich der Privatkunden als potenzielle Erstnutzer vor allem Vollzeitbeschäftigte aus Städten mit unter 100.000 Einwohnern und aus ländlichen Gebieten infrage, die regelmäßig 30 bis 50 km zur Arbeit pendeln. Rund 4 bis 8 % der heutigen Pkw könnten demnach durch reine Batteriefahrzeuge substituiert werden, sogar wenn ein fester Pkw-Stellplatz oder eine Garage sowie ein Zweitwagen vorausgesetzt werden (Biere et al. 2009).

In aktuellen Studien (z. B. Wietschel et al. 2012) zur Akzeptanz von Elektrofahrzeugen bei privaten Konsumenten wird darauf hingewiesen, dass die größte Kaufwahrscheinlichkeit bei

Männern im mittleren Alter (typischerweise Anfang 40), mit höherem sozioökonomischem Status, Technikkaffinität und mit Wertschätzung für Fahrspaß, Individualität und umweltfreundliches Fahren besteht. Auch Personen mit hoher Umweltorientierung, die in ländlicheren Regionen wohnen und auf ein Auto angewiesen sind, dürften als potenzielle Käufer vermehrt in Betracht kommen. Ihre Fahrprofile zeichnen sich durch eine hohe jährliche Fahrleistung aus. Hingegen sind Konsumenten, die hauptsächlich Strecken in Großstädten zurücklegen, in den nächsten Jahren vermutlich eine weniger relevante Käufergruppe, da für sie der Einsatz eines Elektrofahrzeugs i. d. R. ökonomisch nicht sinnvoll ist. Für diese Personen scheinen dagegen die Nutzung von Elektrofahrzeugen im Rahmen von Carsharing sowie umfassende Mobilitätsangebote interessant sowie ökologisch sinnvoll, die eine flexible, einfache und kostengünstige Kombination verschiedener Verkehrsmittel ermöglichen.

HANDLUNGSOPTIONEN

Elektromobilität wird in den nächsten zwei Dekaden ein wichtiger Bestandteil des Mobilitätssystems in Deutschland und der Welt werden. Das Ziel, bis 2020 1 Mio. Elektrofahrzeuge in Deutschland auf die Straßen zu bringen, scheint unter den aktuellen Rahmenbedingungen und ohne deutliche Kauf- oder andere Anreize dennoch nur schwer erreichbar zu sein. Wichtige Rahmenbedingungen sind allerdings unsicher. Beispielsweise können ein stark steigender Ölpreis oder stark sinkende Batterie- und Fahrzeugkosten zu dynamischen Marktentwicklungen führen. Das Ziel von mindestens 6 Mio. Elektrofahrzeugen in Deutschland bis 2030 erscheint dagegen realisierbar, da zu erwarten ist, dass sich die Bedingungen für die Elektromobilität künftig weiter verbessern.

Die Diskussionen hinsichtlich einer Förderung der Markteinführung drehen sich vorrangig um die öffentliche Ladeinfrastruktur und eine finanzielle Unterstützung bei der Anschaffung und/oder dem Betrieb der Fahrzeuge. Beides erscheint derzeit nicht zweckmäßig. Die bisherigen nationalen wie internationalen Erfahrungen belegen, dass öffentliche Ladeinfrastruktur kaum genutzt wird und ihr Aufbau und Unterhalt teuer sind. Die Elektrofahrzeuge werden fast ausschließlich zu Hause, zum Beispiel in der Garage, oder im halböffentlichen Bereich, beispielsweise am Arbeitsplatz oder in Parkhäusern, geladen. Weiterhin sind die durch öffentliche Ladestationen erreichbaren »Laternenparker« in großstädtischen Kerngebieten weder eine besonders große noch eine besonders relevante Nutzergruppe, da diese in der Regel eine eher geringe Fahrleistung haben (Biere et al. 2009). Die empirischen Analysen zu den möglichen Erstkäufern von Elektrofahrzeugen lassen zudem erwarten, dass in diesen Gebieten nur wenige potenzielle Käufer anzutreffen sind. Der Ausbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur sollte sich derzeit auf wenige gut zugängliche Stellen konzentrieren, um in Notfällen ein Nachladen zu ermöglichen und Hemmschwellen bzw. Befürchtungen bzgl. einer unzureichenden Reichweite abzubauen.

Auch eine Marktanschubfinanzierung ist zum jetzigen Zeitpunkt eher kritisch zu reflektieren. Wie empirische Erhebungen (Wietschel et al. 2012) ergeben haben, sind die hohen Anschaffungsausgaben zwar eine wesentliche Kaufhürde. Derzeit sind die Preise für Elektrofahrzeuge aber noch deutlich höher als für vergleichbare konventionelle Fahrzeuge, sodass auch bei einer Subventionierung von einigen Tausend Euro pro Fahrzeug der Preis für viele potenzielle Käufer – trotz einer gewissen Mehrpreisbereitschaft – noch zu hoch liegen dürfte. Darüber hinaus sind die gesamtwirtschaftlichen

Auswirkungen solcher Maßnahmen noch nicht ausreichend untersucht (ESMT 2011). Eher angezeigt scheint die Förderung von FuE-Aktivitäten. Die Marktanschubfinanzierung kann aber zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Anschaffungspreise entsprechend gesunken sind, effektiver sein, um eine schnelle Marktpenetration zu erreichen. Eine Marktanschubförderung sollte immer zeitlich befristet und flexibel sein, um auf sich verändernde Rahmenbedingungen entsprechend reagieren zu können.

Auch nichtmonetäre Anreize wie die Nutzung von Busspuren oder eigene Parkplätze können die Verbreitung der Elektromobilität fördern, sie sollten aber nicht zu Konflikten mit dem Umweltverbund, also dem öffentlichen Personennah-, Fuß- und Radverkehr führen. Vorrangiges Ziel einer nachhaltigen Verkehrspolitik im urbanen Raum ist eine Verlagerung der Verkehrsnachfrage vom motorisierten Individualverkehr auf den Umweltverbund. Dazu gehört auch die Entwicklung neuer, multimodaler Mobilitätskonzepte unter Einbeziehung der Elektromobilität. Elektrofahrzeuge können hier im Rahmen von Car- oder Bikesharing eine wichtige Rolle zur nachhaltigeren Gestaltung derjenigen Wege führen, die nicht oder nur mit großem Aufwand mit dem Umweltverbund durchgeführt werden können. Die Nutzung von Elektrofahrzeugen in einem solchen Rahmen kann sowohl die Hürden für den Einstieg im Privatkundenmarkt senken als auch den Absatz ankurbeln. Gerade bei Sharingkonzepten wird den Nutzern die Möglichkeit zum Erfahren der Elektromobilität gegeben, ohne dass sie die noch hohen Anschaffungskosten der Fahrzeuge übernehmen müssen. Neben Carsharingflotten ist der Einsatz vor allem auch in gewerblichen Flotten (Dienstleister, Flotten des Bundes, der Länder und Kommunen) aus ökologischer sowie wirtschaftlicher Sicht sinnvoll.

Geeignete Regulierungen und Anreize für den Einsatz in Flotten betreffen z. B. Umweltzonen und Lieferfenster für Elektrofahrzeuge, die Bereitstellung von Stellplätzen für Sharingsysteme, Standards für Buchungs- und Abrechnungssysteme sowie Roamingvorschriften zwischen verschiedenen Mobilitätsdienstleistern.

Der Batterie kommt eine Schlüsselrolle für die Wertschöpfung der Elektromobilität zu. Aus strategischer Sicht sollte deshalb zumindest die Grundlagenforschung in Deutschland gefördert werden. Zur Sicherung der automobilen Wertschöpfung in Deutschland ist anzustreben, dass bei zukünftigen Batteriezelltechnologien (Lithiumbatterien der 2. bis 4. Generation) deutsche Hersteller wieder über eine eigene Batterieproduktion verfügen, sei es in den Konzernen selbst oder mittels Joint Ventures. Sie sollten in solchem Umfang beteiligt sein, dass sie über eine Mitsprache bei relevanten Entscheidungen verfügen.

Elektromobilität wird bei zielorientierter Gestaltung der Nutzung dazu beitragen, zwei Jahrhundertprobleme des Verkehrs zu lösen bzw. zumindest deutlich abzumildern: Treibhausgasemissionen und Knappheit fossiler Ressourcen. Eine signifikante Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie des Verbrauchs fossiler Ressourcen kann nur erreicht werden, wenn der Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wird. Damit ist eine umweltfreundliche Elektromobilität direkt an das Gelingen der Energiewende gekoppelt. Diese Kopplung sollte auch durch Regulierung bzw. in Fördermaßnahmen explizit hergestellt werden. Da die große Mehrheit potenzieller Käufer Strom aus erneuerbaren Energien wünscht, aber z. T. Zweifel hinsichtlich der Bereitstellung hat, sollte die Politik für ein klares, transparentes und vertrauenswürdiges System zur Sicherstellung des

Strombezugs aus regenerativen Energien sorgen.

Neben dem Klimawandel und der Ressourcenverfügbarkeit kann die Elektromobilität aber auch in anderen wichtigen Problemfeldern einen positiven Beitrag leisten. Genannt sei hier nur der Verkehrslärm als bedeutende Gefährdung der menschlichen Gesundheit. Dieser wird durch Elektromobile deutlich verringert, vor allem im Bereich der Fahrgeschwindigkeiten bis 40 km/h. Zur Vermeidung eines Anstiegs des Unfallrisikos mit Fußgängern und Radfahrern müssen Assistenzsysteme zur Warnung vor und Vermeidung von Kollisionen weiterentwickelt und in Elektromobile eingebaut werden.

Insgesamt wird deutlich, dass die Potenziale und Herausforderungen der Elektromobilität nur aus einer umfassenden und langfristigen Perspektive angemessen bewertet werden können. Auf lange Sicht bietet die Elektromobilität bedeutsame ökologische Vorteile wie auch wirtschaftliche Chancen. Für die Realisierung der Potenziale müssen die noch bestehenden Herausforderungen konsequent angegangen werden, indem Forschung und Entwicklung weiter vorangetrieben und geeignete politische Maßnahmen umgesetzt werden.

Anja Peters, Martin Wietschel

LITERATUR

Biere, D., Dallinger, D., Wietschel, M. (2009): Ökonomische Analyse der Erstnutzer von Elektrofahrzeugen. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft 33(2), S. 173–181

BMWi, BMU (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zu-

- verlässige und bezahlbare Energieversorgung. 28. September 2010, Berlin
- Bundesregierung (2011): Regierungsprogramm Elektromobilität. Berlin
- ewi (Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln) (2010): Potenziale der Elektromobilität bis 2050. Eine szenarienbasierte Analyse der Wirtschaftlichkeit, Umweltauswirkungen und Systemintegration (Autoren: Richter, J., Lindenberger, D.). Köln
- ESMT (European School of Management and Technology) (2011): Marktmodell Elektromobilität. Berlin
- Fraunhofer ISI (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung) (2008): Quo vadis Elektromobilität? (Autoren: Wietschel, M., Dallinger, D.). In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 58(12), S. 8–15
- Held, M., Baumann, M. (2011): Assessment of the environmental impacts of electric vehicle concepts. 43rd LCA Discussion Forum, Life Cycle Assessment of Electromobility. ETH Zürich
- Helms, H., Jöhrens, J., Lambrecht, U. (2011): Umweltbilanzen Elektromobilität. Wissenschaftlicher Grundlagenbericht. Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU) Heidelberg, gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Heidelberg
- IEA (International Energy Agency) (2010): *Energy Technology Perspectives 2010*. Paris
- Kahn Ribeiro, S., Kobayashi, S., Beuthe, M., Gasca, J., Greene, D., Lee, D.S., Muromachi, Y., Newton, P.J., Plotkin, S., Sperling, D., Wit, R., Zhou, P.J. (2007): Transport and its infrastructure. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (eds.): *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge/New York, S. 325–385
- Kley, F. (2011): Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge. Dissertation, Fraunhofer ISI und Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe
- McKinsey (2009): *Pathways to a Low Carbon Economy*. London
- NPE (Nationale Plattform Elektromobilität) (2011): *Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität*. Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (Hg.), Berlin
- Schade, W. (2011): *Reducing greenhousegas emissions of transport beyond 2020: linking R&D, transport policies and reduction targets: Final Conference Summary Note*. Karlsruhe
- Skinner, I., van Essen, H., Smokers, R., Hill, N. (2010): *EU Transport GHG: Routes to 2050? Towards the decarbonisation of the EU's transport sector by 2050*. London
- Thielmann, A., Sauer, A., Isenmann, R., Wietschel, M. (2012): *Technologie-Roadmap Energiespeicher für die Elektromobilität 2030*. Fraunhofer ISI, Karlsruhe (Veröffentlichung geplant in 2012)
- Wietschel, M., Dütschke, E., Schneider, U., Plötz, P., Peters, A., Roser, A., Globisch, J. (2012): *Kaufpotenzial für Elektrofahrzeuge bei sogenannten »Early Adoptern«*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), durchgeführt von Fraunhofer ISI und IREES GmbH, Karlsruhe