

Döring, Thomas

Article — Published Version

Hat die Elektromobilität eine Zukunft?

Wirtschaftsdienst

Suggested Citation: Döring, Thomas (2012) : Hat die Elektromobilität eine Zukunft?, Wirtschaftsdienst, ISSN 1613-978X, Springer, Heidelberg, Vol. 92, Iss. 8, pp. 563-571, <https://doi.org/10.1007/s10273-012-1420-1>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/106696>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Thomas Döring

Hat die Elektromobilität eine Zukunft?

Als klimaschonende Alternative hat die Elektromobilität an Aufmerksamkeit gewonnen. Aus ökonomischer Sicht sind jedoch nicht allein die ökologischen Effekte von Elektrofahrzeugen kritisch zu beleuchten. Ob sie sich durchsetzen werden, hängt dabei sowohl von technischen Entwicklungen als auch von den Preisen der benötigten Rohstoffe, der einzelnen Module, der Strompreise, aber auch den Opportunitätskosten ab. Es fehlen gesicherte Erkenntnisse, mit welchen gesamtwirtschaftlichen Wirkungen zu rechnen ist.

Deutschland hat sich bezogen auf eine verstärkte Nutzung von Elektrofahrzeugen politisch ambitionierte Ziele gesetzt. So formulierte die Bundesregierung erst jüngst die Vorgabe, dass sich bis 2020 1 Mio. Elektroautos auf den Straßen des Landes bewegen sollen, was einem Anteil von rund 2,2% des gesamten PKW-Fahrzeugbestandes entsprechen würde.¹ Wie weitreichend diese Zielvorgabe ist, wird deutlich, wenn man berücksichtigt, dass bis Mitte 2010 gerade einmal 1642 Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen unterwegs waren.² Weniger schleppend als auf dem Markt für Elektroautos verlief bislang die Entwicklung im Bereich der Elektrofahrräder (Pedelects): Während davon 2005 noch lediglich rund 25 000 in Deutschland verkauft wurden, waren es 2008 bereits annähernd 110 000 Stück und 2009 sogar mehr als 150 000, was gegenüber dem Vorjahr einem Anstieg von 36% entspricht. Für 2011 geht der Zweirad-Industrie-Verband (ZIV) von 160 000 bis 180 000 verkauften Pedelects in Deutschland aus.

Diese Entwicklungen der jüngeren Vergangenheit sind umso bemerkenswerter, als es sich im Fall der Elektromobilität um keine grundlegend neue Mobilitätsform als Reaktion auf die öffentliche Diskussion um Klimaschutz und steigende Energiepreise handelt. Vielmehr wurden schon vor mehr als 150 Jahren Autos mit Strom betrieben, dies allerdings weniger aus ökologischen Motiven als vielmehr aufgrund von Effizienzüberlegungen, die auf den deutlich höheren Wirkungsgrad von elektrischen Antriebssystemen im Vergleich zu konventionellen Verbrennungsmotoren zurückzuführen sind.³ Den ökonomischen Gesetzmäßigkeiten von Angebot und Nachfrage folgend sorgte jedoch eine vergleichsweise kostengünstige und zugleich energiereiche Antriebsressource (Diesel bzw. Benzin) dafür, dass elektrisch betriebene

ne Fahrzeuge über Jahrzehnte aus dem Fahrzeugmarkt verdrängt wurden. Aufgrund dieses Sachverhalts zwischenzeitlich schon als technologisches Auslaufmodell klassifiziert, scheinen Elektrofahrzeuge in Anbetracht von Klimaproblematik, abnehmenden Erdölvorkommen sowie Innovationen im Bereich der Batterietechnik gegenwärtig eine neue Marktchance zu bekommen.

Nichtsdestotrotz findet die aktuelle Rückkehr der Elektrofahrzeuge auf den entsprechenden Märkten nur in kleinen Schritten statt. Verantwortlich hierfür dürfte – neben anderen Faktoren – nicht zuletzt sein, dass die Hemmnisse für eine stärkere Marktdurchdringung wegen einer unzureichenden Lade-Infrastruktur sowie begrenzter Energiespeichermöglichkeiten auch heute noch virulent sind.⁴ Dies erklärt zugleich, warum sowohl die öffentliche als auch die wissenschaftliche Diskussion nach wie vor die Zukunftsfähigkeit dieser Mobilitätsform kritisch beurteilt.⁵ Die am häufigsten genannten positiven Aspekte einer vermehrten Nutzung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen sind die ökologischen Vorteile eines im Vergleich zu konventionellen Antriebstechniken niedrigeren Energieverbrauchs und einer geringeren Luftverschmutzung. Die ökologischen Auswirkungen von Elektrofahrzeugen bedürfen jedoch einer genaueren Betrachtung, wobei grundsätzlich zwischen unmittelbaren (direkten) ökologischen Effekten und mittelbaren (zusätzlich zu berücksichtigenden) Umwelteffekten unterschieden werden kann.

Unmittelbare ökologische Effekte

Bezogen auf den Energieverbrauch gelten Elektrofahrzeuge im Vergleich zu herkömmlichen (Benzin oder Diesel betriebenen) Fahrzeugen als deutlich effizienter. So benötigen konventionelle Fahrzeuge gut zwei- bis viermal so viel Energie für das Zurücklegen derselben Wegstrecke. Beispielsweise

1 Vgl. für diese Zielvorgabe die Presseaussendung der Bundesregierung vom 3.5.2010.

2 Vgl. Deutsches Clean Tech Institut: eMobilität – CleanTech-Branche: Treiber im Fokus, Bonn 2010, S. 76 ff. Demgegenüber hat sich in Deutschland die Zahl der Hybridfahrzeuge in den zurückliegenden beiden Jahren annähernd verdoppelt.

3 Während der Wirkungsgrad von Elektromotoren bei annähernd 100% liegt, erreichen Dieselmotoren im Vergleich dazu lediglich einen Wert von 40% und Benzinmotoren sogar nur 30%.

4 Vgl. zu dieser Einschätzung auch Deutsches Clean Tech Institut, a.a.O., S. 10.

5 Vgl. stellvertretend die Beiträge in S. Rammler, M. Wieder (Hrsg.): Das Elektroauto, Mobilität und Gesellschaft, Bd. 5, Münster 2011.

beträgt der Energieverbrauch eines elektrisch angetriebenen Ultraleichtfahrzeugs ungefähr 10 kWh/100 km, was umgerechnet einem Verbrauch von 1 l Benzin entspricht. Aber auch wenn man schwere (auf die Nutzung von vier Personen ausgelegte) Fahrzeugtypen miteinander vergleicht, steigt der Energieverbrauch entsprechender Elektrofahrzeuge auf lediglich 20 kWh/100 km, was umgerechnet einem Benzinverbrauch von 2 l entspricht. Das gleiche Fahrzeug – ausgestattet mit einem herkömmlichen Verbrennungsmotor – benötigt demgegenüber für die gleiche Wegstrecke rund 5 l Diesel bzw. 8 l Benzin. Zu diesem positiven ökologischen Effekt eines niedrigen unmittelbaren Energieverbrauchs ist bei der Bewertung von Elektrofahrzeugen darüber hinaus zu berücksichtigen, dass während des Fahrbetriebs nur geringe Lärmbelastigungen, keine Feinstaubemissionen sowie keine CO₂- oder NO_x-Abgase entstehen.⁶

Bei näherer Betrachtung ist jedoch festzustellen, dass unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus von entsprechenden E-Fahrzeugen mit vergleichbarer Größe und ähnlichen Ausstattungsmerkmalen wie bei treibstoffbetriebenen Fahrzeugen diese durch einen fast identischen Ausstoß an Treibhausgasen pro km gekennzeichnet sind.⁷ Ein eindeutiger ökologischer Vorteil von Elektrofahrzeugen ist nur gegeben, wenn die benötigte Energie primär aus regenerativen Energiequellen gewonnen wird. Würde in Deutschland der für 2020 politisch formulierte Zielwert von 1 Mio. Elektroautos realisiert, so wäre damit ein Energiebedarf von rund 1,98 Mrd. kWh verbunden, was etwa 0,3% des deutschen Stromverbrauchs 2010 entsprechen würde. Je höher dabei der Anteil an erneuerbaren Energien (Windkraft, Sonnenenergie, Wasserkraft, Bio-Energie) bei der Stromerzeugung ist, umso besser fällt die Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen aus. Geht man beispielsweise von einem Bruttostromverbrauch aus, der zu 30% aus regenerativen Energien gewonnen wird, könnten 1 Mio. Elektrofahrzeuge schätzungsweise 1,14 Mrd. t CO₂ vermeiden. Bei einem Anteil von 50% erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung könnte der bestehende CO₂-Ausstoß sogar um rund 1,88 Mrd. t reduziert werden.⁸ Mit einem Anteil an regenerativen Energien an der Stromer-

Prof. Dr. Thomas Döring ist Leiter des Zentrums für Forschung und Entwicklung (ZFE) sowie Inhaber der Professur für Politik und Institutionen mit Schwerpunkt Umwelt- und Institutionenökonomik an der Hochschule Darmstadt.

zeugung in Deutschland von aktuell knapp 20% (Stand 2011) lassen sich die unmittelbaren ökologischen Vorteile einer verstärkten Nutzung von Elektrofahrzeugen nur in begrenztem Maße realisieren. Aber auch wenn der Anteil an erneuerbaren Energien an der gesamten Stromerzeugung deutlich ansteigen sollte, kann aus umweltökonomischer Sicht kritisch hinterfragt werden, ob eine Verwendung dieser Energieträger im Verkehrsbereich unter Berücksichtigung des aktuellen Entwicklungsstands der Elektromobilität ebenso wie deren vorrangiger Nutzung im Bereich des Individualverkehrs umweltökonomisch die richtige Allokationsentscheidung darstellt. Vielmehr wäre zu prüfen, ob die mit regenerativen Energien verbundene Vermeidung von klimaschädlichen Gasen nicht zweckmäßiger in den gesellschaftlichen Bereichen zum Einsatz kommen sollte, in denen ein vergleichsweise hoher Energieverbrauch (z.B. energieintensive Wirtschaftszweige oder der Bereich der privaten Haushalte jenseits des Mobilitätsaspektes) zu hohen CO₂-Emissionen führt, die auf diese Weise merklich reduziert werden könnten.

Weitere Umweltwirkungen

Ob eine verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien primär im Verkehrssektor und damit zur Erhöhung der ökologischen Effektivität von Elektrofahrzeugen erfolgen sollte, ist auch in Hinsicht auf die Energiespeicher (d.h. der Batterie), die nach wie vor den problematischsten Teil eines Elektrofahrzeugs darstellen, kritisch zu diskutieren. Dies gilt nicht nur, weil – etwa im Fall einer Lithium-Ionen-Batterie – nur 86% der gespeicherten Energie für den Antrieb des Fahrzeugs während der Betriebsphase zur Verfügung stehen und die restlichen 14% aufgrund von chemischen Reaktionen innerhalb der Batterie verloren gehen. Von größerer Bedeutung ist, dass bereits der Herstellungsprozess einer Batterie mit einem hohen Energiebedarf verbunden ist. Dies gilt nicht allein für die fabrikmäßige Fertigung der Batterie, sondern für die gesamte Produktionskette, zu der unter anderen auch die Extraktion der benötigten Rohstoffe (neben Lithium etwa ebenso Silizium) und deren Transport zu rechnen ist.⁹ Hinzu kommt, dass mit der Batterie eines E-Fahrzeugs auf-

6 Vgl. T. Döring, S. Aigner: E-Mobility: Realistic Vision or Hype? – An Economic Analysis, in: Electrical Review, 87. Jg. (2011), H. 3, S. 37-40.

7 Vgl. stellvertretend die Studie von M. Pehnt, U. Höpfner, F. Merten: Elektromobilität und erneuerbare Energien, Heidelberg, Wuppertal 2007. Lädt ein Elektrofahrzeug den durchschnittlichen deutschen Strommix, so liegt sein Ausstoß mit 107 g CO₂-Äquivalente/km nur gering unter dem Niveau vergleichbaren konventionellen Verbrennungsmotors. Berücksichtigt man die CO₂-Lebenswegbilanz (d.h. neben dem rein betriebsbedingten Schadstoffausstoß auch jenen der produktionsbedingten Vorkette), kommen zu den genannten 107 g CO₂/km noch weitere knapp 40 g CO₂/km hinzu. Dieser Wert für ein Elektroauto entspricht fast genau dem aktuell veranschlagten Wert für Diesel-Pkw (99 g betriebsbedingte CO₂/km plus weitere 37 g CO₂/km unter Einbezug der CO₂-Emissionen der Vorkette). Lediglich die CO₂-Lebenswegbilanz eines benzinbetriebenen durchschnittlichen Neuwagens fällt mit 227 g CO₂/km deutlich höher aus als bei einem Elektrofahrzeug.

8 Vgl. zu diesen Daten Deutsches Clean Tech Institut, a.a.O., S. 38.

9 Vgl. auch T. Döring, B. Aigner-Walder: Zukunftsperspektiven der Elektromobilität – Treibende Faktoren und Hemmnisse in ökonomischer Sicht, in: Wirtschaft und Gesellschaft, 38. Jg. (2012), H. 1, S. 103 ff.

grund der darin enthaltenen Schwermetalle insbesondere für den Fall einer breiten Nutzung dieser Antriebstechnik zukünftig ein erhebliches Umweltrisiko verbunden ist.

Weiterhin ist insbesondere bei der Antriebstechnik das Gewicht der verwendeten Materialien bei der Herstellung eines Fahrzeugs von Bedeutung. So enthalten die Standardmotoren konventioneller Fahrzeuge (mit Öl gekühlte) Turboverstärker oder Kompressoren, die aus sehr leichten Aluminiumteilen bestehen. Lediglich Kurbelwelle, Pleuel, Nockenwelle sowie einige tragende Teile sind aus Stahl und damit schwerer. Im Unterschied dazu setzt sich der gesamte Antrieb eines Elektrofahrzeugs aus schweren Materialien zusammen: den Stahl- bzw. speziellen Eisenteilen des Magnetkreises, dem mit einer Metalllegierung versehenen Dauermagneten sowie den ebenfalls schweren Kupferwindungen. Darüber hinaus besitzen die für die Energiespeicherung benötigten Verbindungsleitungen – allesamt Kupferkabel – ein hohes Gewicht (insbesondere im Fall von Starkstromladekabeln bis zu 1000 Ampère). Unter ökologischen Aspekten gilt die einfache Einsicht, dass mit einem größeren Gewicht zugleich der Energiebedarf und – bei bestehendem Energiemix – auch der CO₂-Ausstoß steigt.

In Anbetracht dieser eher ernüchternden Feststellungen gewinnt ein Umwelteffekt von Elektrofahrzeugen an Relevanz, der bislang ausgeblendet wurde. So könnte sich ein zusätzlicher ökologischer Vorteil von Elektromobilität daraus ergeben, dass die Batterien von Elektroautos als ergänzende Stromspeicher innerhalb des gesamten Stromnetzes eingesetzt werden (Vehicle-to-Grid).¹⁰ Dem liegt die technisch anspruchsvolle Vorstellung zugrunde, dass auf Basis einer zweiseitigen „Kommunikation“ zwischen Fahrzeug und Stromnetz eine bestehende Flotte an Elektroautos zu einem virtuellen Regelkraftwerk verknüpft werden könnte. Dies wäre eine mögliche Lösung für das Problem der Bereitstellung großer Stromspeicherkapazitäten, das vor allem aus der zusätzlichen Einspeisung von Sonnen- und Windenergie resultiert, bei denen es sich um keine kontinuierlichen, in gleichbleibender Quantität zur Verfügung stehenden Energiequellen handelt. Die technische Logik des Stromnetzes zwingt jedoch dazu, dass Angebot und Nachfrage im Netz jederzeit übereinstimmen müssen. Die Batterien von Elektroautos könnten hier als ein Speicherpuffer fungieren. Investitionen in die Entwicklung und Umsetzung solcher intelligenten Netzstrukturen (Smart Grid) sind ökonomisch allerdings erst dann zu erwarten, wenn es in Zukunft zu einer nennenswerten Verbreitung von Elektrofahrzeugen kommt.

¹⁰ Vgl. T. Engel: Vehicle to Grid – Das Elektroauto als Netzpuffer, in: Solar mobil Mitteilungen, Nr. 63 (2006), S. 8-9; vgl. ebenso Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung: Dossier Elektromobilität und Dienstleistungen, Arbeitsbericht 39, Berlin 2010, S. 6.

Nachfrage nach Elektrofahrzeugen

Aus (mikro-)ökonomischer Sicht wird die Nachfrage eines Gutes (hier: Elektrofahrzeuge) durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst, zu denen der Preis eines Gutes, der Preis naher Substitute (hier: treibstoffgetriebener Fahrzeuge), das Einkommen der potenziellen Nachfrager (als Bestimmungsfaktor der individuellen Zahlungsfähigkeit), die jeweiligen Bedürfnisse, Vorlieben und Geschmäcker (kurz: die Präferenzen als Bestimmungsfaktor der individuellen Zahlungsbereitschaft) sowie die Erwartungen an die künftige Entwicklung des Marktes für das entsprechende Gut gehören.¹¹ Dabei stellt sich die Frage, wie wahrscheinlich der Wechsel von einem konventionellen Fahrzeug zu einem Elektrofahrzeug unter Berücksichtigung der damit verbundenen Opportunitätskosten ist, d.h. der für den Fall des Wechsels entgangenen Vorteile aus der Nutzung treibstoffgetriebener Fahrzeuge und deren charakteristischen Eigenschaften.

Für eine erste Einschätzung der mit einer verstärkten Nutzung von Elektrofahrzeugen verbundenen Opportunitätskosten ist ein Vergleich der direkten Nutzungs- bzw. Betriebskosten zweckmäßig. Danach zeigen ökonomische Studien, dass sich die Energiekosten für den Gebrauch eines Elektrofahrzeuges im Durchschnitt auf rund 4 Euro/100 km belaufen, was lediglich der Hälfte dessen entspricht, was an direkten Kosten für die Nutzung eines treibstoffbetriebenen Fahrzeugs gegenwärtig zu veranschlagen ist. Allerdings sind im Fall des Elektrofahrzeugs weitere Kosten zu berücksichtigen, die aufgrund der Batterieabnutzung entstehen und sich auf rund 20 Euro/100 km belaufen, weil bezogen auf den aktuellen Stand der Technik eine Batterie nach 250 bis zu 1500 Ladevorgängen erneuert werden muss. Die Zahl der maximal zu realisierenden Ladezyklen variiert dabei nicht nur in Abhängigkeit vom Batterietyp (Blei-Batterie, Nickel-Metallhydrid-Batterie, Lithium-Ionen-Batterie etc.), sondern auch von der Außentemperatur.¹²

Nutzungskosten, Reichweite und Sicherheit

Die direkten Nutzungskosten von konventionell und elektrisch angetriebenen Fahrzeugen unterscheiden sich aufgrund der divergierenden Energiedichte verschiedener Antriebsstoffe bzw. Speichermedien erheblich: Um die Energie-

¹¹ Herkömmlicherweise wird als weiterer Bestimmungsfaktor der Nachfrage auch die Anzahl der potenziellen Käufer genannt, die das gesamte Marktvolumen nachfrageseitig definiert. Da es bei den nachfolgenden Überlegungen vorrangig um Abwägungsgründe für die individuelle Kaufentscheidung von Elektrofahrzeugen geht, kann dieser Faktor jedoch vernachlässigt werden.

¹² Vgl. Klima und Energiefonds: e-connected – Abschlussbericht, Wien 2009. Während beispielsweise bei einer Außentemperatur von 25°C eine Batterie erst nach 1000 bis 1500 Ladevorgängen erneuert werden muss, reduziert sich dieser Wert bei 55°C auf deutlich unter 500 Ladevorgänge, d.h. die Lebensdauer verkürzt sich auf weniger als 30% des Maximalwertes.

dichte von 1 l Dieselöl (fast 10 kWh) zu erreichen, bedarf es einer 333 kg schweren Blei-Batterie, einer 167 kg schweren Nickel-Metallhydrid-Batterie oder einer 55 kg schweren Lithium-Ionen-Batterie. Damit erreichen selbst modernste Akkus gerade einmal 8% der energetischen Leistungsfähigkeit von Dieselöl. Und dies bei Kosten von rund 5000 Euro für eine Blei-Batterie, ca. 20 000 Euro für eine Nickel-Metallhydrid-Batterie sowie knapp 35 000 Euro für eine Lithium-Ionen-Batterie. Die Höhe der direkten Nutzungskosten eines Elektrofahrzeugs wird somit entscheidend von den Möglichkeiten der Speicherung von elektrischer Energie bestimmt. Je mehr Energie (kWh) sich folglich in 1 kg Batterie unterbringen lässt, desto leichter und kleiner kann die Batterie werden und desto niedriger dürften die direkten Nutzungskosten ausfallen.

Es ist davon auszugehen, dass die potenziellen Nutzer von Elektrofahrzeugen die gleiche Qualität und Quantität des Gutes „Mobilität“ bezüglich Reichweite, zeitlicher Verfügbarkeit oder Sicherheit erwarten werden. Auch in diesem Zusammenhang stellt die Batterie eine besondere Herausforderung dar. Problematisch ist die räumliche Reichweite von Elektrofahrzeugen, die gegenwärtig 150 bis 200 km beträgt, bevor die Batterie erneut aufgeladen werden muss. Im Vergleich zu einem treibstoffgetriebenen Fahrzeug (aktuelle Reichweite: 600 bis 1000 km) weisen Elektromobile damit einen erheblichen Wettbewerbsnachteil auf. Hinzu kommt, dass die Reichweite eines Elektrofahrzeugs von topographischen ebenso wie klimatischen Faktoren abhängt, d.h. je bergiger der Streckenverlauf und je wärmer die Außentemperatur, umso niedriger ist die Reichweite eines Elektrofahrzeugs.¹³ Wird während einer Fahrt auch noch die Heizung oder Klimaanlage genutzt, kann sich die Leistungsfähigkeit um weitere 30% bis 50% reduzieren. Für einen positiven Anreiz zugunsten einer verstärkten Nutzung von Elektromobilen gegenüber konventionellen Fahrzeugen wäre aus ökonomischer Sicht jedoch eine annähernd gleiche Reichweite erforderlich.¹⁴

Aus der aktuell (noch) geringen Reichweite von Elektrofahrzeugen (low-range usage) ergeben sich weitere Opportunitätskosten. Wenn potenzielle Konsumenten die Gesamtheit ihrer Mobilitätsbedürfnisse in flexibler Weise befriedigen wollen, dann dürfte dies häufig die Anschaffung von mehr als einem Fahrzeug erforderlich machen, um größere Entfer-

nungen (high-range usage) problemlos bewältigen zu können. Dies bedeutet jedoch zum einen, dass die Zahlungsbereitschaft für ein Elektrofahrzeug – insbesondere dann, wenn die Anschaffung von zwei Fahrzeugen zwingend notwendig ist – tendenziell niedrig sein wird. Dies heißt zum anderen aber auch, dass die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen in starkem Maße vom jeweiligen Haushaltseinkommen abhängt, wobei vor allem Haushalte mit hohem Einkommen in der Lage sein dürften, Elektrofahrzeuge zu kaufen. Aber selbst wenn sich private Haushalte für die Anschaffung eines Elektrofahrzeugs entscheiden, hätten sie es bei der gegebenen Marktsituation schwer, ein geeignetes Angebot zu finden, da sowohl die Zahl als auch die Variationsbreite der Produkte im Vergleich zum Markt für treibstoffgetriebene Fahrzeuge sehr niedrig sind (vgl. Tabelle 1).

Zum Problem der mangelnden Verfügbarkeit eines den Präferenzen der Konsumenten entsprechenden Angebots kommen bislang nur unzureichend geklärte Sicherheitsfragen hinzu. Auch hier ist aus Sicht der Opportunitätskosten die Batterietechnik ein Schlüsselfaktor. Die Brand- und Explosionsgefahr stellt nach wie vor eines der größten Probleme im Bereich der Speichertechnik dar, da Batterien grundsätzlich aus Materialien bestehen, die heftig miteinander reagieren können. Dies gilt beispielsweise für Lithium-Batterie-Varianten, die zwar vergleichsweise langlebig sind, zugleich aber auch als besonders explosiv gelten, da das hochreaktive Lithium zu Überhitzung neigt. Inwieweit die Entwicklung neuer Batterievarianten nicht nur zu einer größeren Reichweite, sondern auch zu einem verbesserten Thermomanagement und damit zu einer höheren Nutzersicherheit führt, bleibt abzuwarten. Darüber hinaus besteht ein weiteres Sicherheitsrisiko, weil das hohe Gewicht der Batterien dazu führen kann, dass diese im Fall einer Kollision zur Gefahr für die Insassen eines Fahrzeugs werden. Daher dürfte die Entwicklung leichter Batterien auch mit Blick auf ein verbessertes Unfallverhalten zwingend notwendig sein, um die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen zu erhöhen.¹⁵

Ladeinfrastruktur, Anschaffung und Lebenszyklus

Weitere Opportunitätskosten verbinden sich mit den Ladezeiten von marktüblichen Elektrofahrzeugen, die die Betankungszeiten eines konventionellen Fahrzeugs um ein Vielfaches übersteigen. Während bei letztgenanntem Fahrzeugtyp nicht mehr als fünf Minuten ausreichen, um rund 100 000 kWh im Tank aufzunehmen, benötigen Elektrofahrzeuge acht bis zwölf Stunden für das Wiederaufladen der Batterie an der Haushaltssteckdose. Selbst im Fall einer Schnellaufladung (fast charging) beansprucht der Ladevorgang

13 Vgl. Boston Consulting Group: Batteries for Electric Cars – Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020, Boston 2010.

14 Diese Einschätzung wird dadurch bestätigt, dass laut einer Umfrage in Deutschland 2010 rund 87% der potenziellen Nachfrager eine Reichweite von unter 250 km für nicht akzeptabel halten – und dies obwohl im Jahresdurchschnitt weniger als 10% aller Fahrten oberhalb dieser Reichweitengrenze liegen, vgl. Deutsches Clean Tech Institut, a.a.O., S. 103. Die Werte stellen jedoch keinen Widerspruch dar, sondern verdeutlichen lediglich den hohen Optionswert, der einer räumlich flexiblen Nutzung des eigenen Fahrzeugs durch die Nachfrager beigemessen wird.

15 Vgl. hierzu auch T. Döring, B. Aigner, a.a.O., S. 38; ebenso wie F. Pötscher, R. Winter, G. Lichtblau: Elektromobilität in Österreich – Szenario 2020 und 2050, Wien 2010, S. 22.

üblicherweise rund 30 Minuten.¹⁶ Das Problem der langen Ladezeiten verweist auf das grundlegendere Problem einer zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur unzureichend ausgebauten Infrastruktur für Elektrofahrzeuge. Dies betrifft neben entsprechenden Werkstätten und Servicestellen ebenso die Zahl an öffentlich zugänglichen Ladestationen, die ein möglichst schnelles Laden der Batterie ermöglichen. Entsprechende Schnellladestationen sind jedoch vergleichsweise teuer und daher aktuell nur für Firmen oder Forschungszwecke finanzierbar. Bis 2020 wird allerdings mit durch deutlich höhere Spannungen und Stromstärken weiterentwickelten Ladesystemen gerechnet.¹⁷

Sowohl einige Hersteller von Elektroautos als auch einige Länder (Dänemark, Israel) bevorzugen statt Ladestationen einen Batteriewechsel. Für ein solches System spricht, dass die langen Stromladezeiten durch ein robotergestütztes Wechseln der Batterie deutlich kürzer ausfallen würden. Die Elektrofahrzeuge könnten auf diese Weise günstiger verkauft werden, da die Batterie zum Anschaffungszeitpunkt lediglich geleast werden muss, womit Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen an Wettbewerbsfähigkeit gewinnen könnten. Allerdings müssten entsprechende Wechselstationen sehr große Mengen an Batterien vorhalten, um den bestehenden Bedarf zu decken. Parallel dazu müssten aber auch die Stationen als solche aufgebaut werden, was in der Summe (Batterievorhaltung und Netz an Stationen) jedoch mit einem erheblichen Kapitalbedarf – bei ungesicherter betriebswirtschaftlicher Rentabilität – verbunden wäre. Ein solches Netz an Wechselstationen ist aber auch angesichts der bislang mangelnden Standardisierung der Batterien für die nähere Zukunft wenig realistisch.

Damit ist auch nicht zu erwarten, dass die Anschaffungskosten eines Elektrofahrzeugs in absehbarer Zeit deutlich sinken werden. Wiederum vor allem aufgrund der Batterie liegen die Mehrkosten bei einem unteren Mittelklassewagen aktuell je nach Hersteller zwischen 10 000 und 15 000 Euro und damit um den Faktor 2,5 über den Anschaffungskosten eines konventionellen Fahrzeugs. Laut einer aktuellen Studie¹⁸ werden jedoch die Anschaffungskosten von 89% der Befragten beim Kauf eines Elektrofahrzeugs als besonders wichtig eingestuft. Es muss davon ausgegangen werden,

16 Unabhängig von der Ladedauer kommt hinzu, dass 10% bis 30 % der Energie beim Ladevorgang der Batterie verloren gehen, was für einen potenziellen Konsumenten noch ein weiterer Grund sein könnte, der neuen Mobilitätsform gegenüber zunächst eine abwartende Haltung einzunehmen. Vgl. zu den Ladeverlusten etwa M. Pehnt, U. Höpfner, F. Merten, a.a.O., S. 6.

17 Vgl. hierzu und zu den nachfolgenden Ausführungen Deutsches Clean Tech Institut, a.a.O., S. 39 f.

18 Vgl. H. Arnold, F. Kuhnert, R. Kurtz, W. Bauer: Elektromobilität – Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand, Frankfurt a.M., Stuttgart 2010, S. 12. Vgl. ebenso Deutsches Clean Tech Institut, a.a.O., S. 39 f.; sowie F. Pötschel, R. Winter, G. Lichtblau, a.a.O., S. 23 f.

Tabelle 1

Erhältliche E-Fahrzeuge in Deutschland

Stand: Dezember 2011

Marke	Modell	Leistung (kW)	Ladezeit (h)	Reichweite (km)
Bdoto	eDucato	140	8	90
Bdoto	eFiorino	60	8	110
Bdoto	eKangoo	60	8	110
Bdoto	eScudo	60	8	130
Bdoto	eTrafic	60	8	90
Citroen	C-Zero	49	ca. 6	150
EcoCraft	EcoCarrier EL	15	6-8	80
EcoCraft	EcoCarrier ES	15	6-8	80
Fiat	500	24,5	7	120
Fiat	Doblo Electric	15	6-8	120
Fiat	Fiorino Electric	15	6-8	120
Fiat	Scudo Electric	30	6-8	100
Land Rover	Defender	75	16	100-120
Mercedes	Sprinter	30	6-8	120
Mitsubishi	i-MiEV	49	ca. 6	150
NF	Nano	3	6-8	90
Peugeot	iOn	49	ca. 6	150
Piaggio	Porter	10,5	8	110
Renault	Master	30	6-8	110
REVA	NXR City	13	8	80
REVA	NXR Intercity	25	8	160
REVA	REVA i	6	6-8	80
Skoda	Fabia	30	6-8	80-100
Skoda	Praktik	30	6-8	80-100
Skoda	Roomster	30	6-8	80-100
Tazzari	Zero	15	5-9	140
Tesla	Roadster	221	4	250-400
Think	City	k.A.	10	120-180

Quelle: ADAC; eigene Darstellung.

dass auch 2025 die Herstellungskosten eines Elektrofahrzeugs immer noch um rund 60% über denen eines konventionellen Fahrzeugs liegen werden. In der gleichen Studie wird darauf verwiesen, dass die Konsumenten in Deutschland jedoch lediglich einen Preisaufschlag in Höhe von gut 20% (bzw. rund 2500 Euro) akzeptieren würden. Als preisgünstiger erweisen sich Elektrofahrzeuge nur, wenn man die gesamten Kosten des Lebenszyklus (Total Cost of Ownership) berücksichtigt und dabei zugleich von künftig steigenden Ölpreisen und sinkenden Batteriekosten ausgeht.

Eine Studie der Boston Consulting Group vergleicht die unterschiedlichen Lebenszykluskosten verschiedener Antriebstechnologien mit geringem CO₂-Ausstoß (rein elektrischer Antrieb, alternative Antriebe jenseits reiner Elektromotoren einschließlich Hybridtechnologien, verbrauchsarme Verbrennungsmotoren) miteinander.¹⁹ Danach können zwar

19 Vgl. Boston Consulting Group: The Comeback of the Electric Car? – How Real, How Soon, and What must Happen Next, Boston 2009.

reine Elektroantriebe die größten Mengen an CO₂-Emissionen vermeiden. Sie sind aus ökonomischer Sicht jedoch nicht die kosteneffektivste Form der CO₂-Vermeidung. Dies trifft vielmehr auf verbrauchsarme Verbrennungsmotoren zu, bei denen die Kosten zur Reduktion von 1% CO₂-Emissionen bei gegebenen Energiepreisen 50 bis 100 Euro betragen. Demgegenüber entstehen bei reinen Elektroantrieben Vermeidungskosten in Höhe von 98 bis 197 Euro. Während die umweltbezogene Kosteneffektivität bei der Kaufentscheidung potenzieller Nachfrager eine eher nachrangige Rolle spielen dürfte, trifft dies nicht in gleicher Weise auf die Höhe der Lebenszykluskosten zu. Elektrofahrzeuge werden aus Konsumentensicht unter Kostenaspekten vergleichsweise unattraktiv sein, solange sich der Ölpreis auf einem moderaten Niveau bewegt und die Einführung von Elektrofahrzeugen nicht zugleich staatlich gefördert wird.²⁰

Elektrofahrzeuge müssen bei einem Vergleich der für einen Fünfjahreszeitraum berechneten durchschnittlichen Lebenszykluskosten als Funktion des Rohölpreises eines in Deutschland gekauften und gefahrenen Fahrzeugs mit einer der jeweils untersuchten Antriebstechnologien aktuell als (noch) vergleichsweise unattraktiv bewertet werden. Geht man von Batteriekosten in Höhe von 500 Euro je kWh aus, liegen die Lebenszykluskosten eines Elektrofahrzeugs deutlich über jenen eines Fahrzeugs mit verbrauchsarmem Verbrennungsmotor. Eine wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit des Elektrofahrzeugs wäre danach erst dann erreicht, wenn sich der Rohölpreis auf einem Niveau von 197 Euro je Barrel bewegen würde. Nur wenn die gegenwärtigen Batteriekosten stark sinken (z.B. auf 353 Euro pro kWh) würden, kann die wirtschaftliche Attraktivität von Elektrofahrzeugen bei einem aktuellen Rohölpreis zwischen 70 und 84 Euro je Barrel (Stand: Mai 2012) steigen. Da die Batteriekosten in Höhe von rund 500 Euro/kWh zu veranschlagen sind, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit rein elektrischer Antriebe (noch) nicht gegeben.

Gesamtwirtschaftliche Effekte

Eine Betrachtung der gesamtwirtschaftlichen Effekte der Elektromobilität reicht über das individuelle Nachfrageverhalten hinaus. Im Mittelpunkt stehen dabei die volkswirtschaftlichen Nutzen- und Kosteneffekte eines mehrheitlichen Umstiegs auf elektrisch betriebene Fahrzeuge. Hierzu zählen die Effekte einer intensivierten Nachfrage nach Elektrofahrzeugen auf das wirtschaftliche Wachstum und den Strukturwandel, damit verbundene Beschäftigungswirkungen ebenso wie Änderungen im gesamtwirtschaftlichen Innovations- und Investitionsverhalten oder auch die Ent-

wicklung auf relevanten Rohstoffmärkten, um nur einige Aspekte zu nennen. Da bislang (noch) keine Studien vorliegen, welche die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der Elektromobilität umfassend beleuchten, werden nachfolgend einige wichtige Auswirkungen schlaglichtartig hervorgehoben.

Weder aufgrund der Nachfrage der Kunden noch in Hinblick auf die technische Entwicklung ist eine eindeutige Richtung für das zukünftige Investitionsverhalten im Automobilsektor prognostizierbar. So gehen aktuelle Studien für Deutschland²¹ davon aus, dass auch 2020 noch mehr als 95% der Autos durch einen Verbrennungsmotor angetrieben werden. Dieser Marktanteil treibstoffbetriebener Fahrzeuge soll auch bis 2030 lediglich auf 87% zurückgehen. Zwar zählt Deutschland gegenwärtig – neben den USA, Frankreich, China und Japan – zu den Ländern, die im Bereich der Elektromobilität weltweit als führend gelten, wenn man die Messergebnisse des „Electric Vehicle Index“²² zugrunde legt. Die vierteljährlich erhobenen Daten, die den Entwicklungsstand der Elektromobilität verschiedener Länder erfassen und die sowohl Indikatoren zur Nachfrage und Nutzung als auch zur Produktion von reinen Elektroautos und Hybridautos umfassen, zeigen aber auch, dass Deutschland im Vergleich zu den anderen Ländern in der Spitzengruppe an Vorsprung verliert, was unter anderem auf ein zurückhaltendes Investitionsverhalten in diesem Bereich zurückzuführen ist.

Investitionsverhalten im Automobilsektor

Die Investitionen der Automobilhersteller in die Elektromobilität sind grundsätzlich mit einem erheblichen unternehmerischen Risiko verbunden. Diese Unsicherheit verstärkt sich noch, weil sich selbst innerhalb der Alternativenantriebe keine überlegene Variante abzeichnet. Die Hersteller schwanken zwischen verschiedenen Formen von Antriebstechnologien, zu denen vor allem der Hybridantrieb, der Elektroantrieb mit einem kleinen Verbrennungsmotor zur Verlängerung der Reichweite, der reine Batteriebetrieb sowie die Brennstoffzel-

20 Vgl. F. Dudenhöffer, L. Bussmann, K. Dudenhöffer: Elektromobilität braucht intelligente Förderung, in: Wirtschaftsdienst, 92. Jg. (2012), H. 4, S. 274-279.

21 Vgl. stellvertretend die jüngst erschienene Studie von McKinsey Deutschland: Wettbewerbsfaktor Energie – Neue Chancen für die deutsche Wirtschaft, Frankfurt a.M. 2009.

22 Vgl. zu dem von McKinsey entwickelten Index auch U. Götze, M. Rehme: Elektromobilität – Herausforderungen und Lösungsansätze aus wirtschaftlicher Sicht, Wirtschaftswissenschaftliche Diskussionspapiere, Nr. 108, Chemnitz 2011, S. 4. Der Index umfasst neun Indikatoren, zu denen auf der Nachfrageseite (1) der aktuelle Marktanteil, (2) der prognostizierte Marktanteil, (3) die angebotenen Modelle von E-Autos, (4) die Fahrtkostenersparnis durch E-Autos, (5) staatliche Zuschüsse sowie (6) die ökologischen und sonstigen Vorteile von E-Autos gehören. Auf der Angebotsseite kommen (7) der Anteil der E-Autos an der nationalen Fahrzeugproduktion, (8) die Zahl vorgestellter E-Auto-Prototypen nationaler Hersteller sowie (9) staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung und sonstiger komplementärer Infrastruktur hinzu. Der Index gibt dabei an, zu wie viel Prozent ein Land den Grad an Elektromobilität erreicht, den Experten für 2020 vorhersagen. Für die USA liegt danach der aktuelle Wert bei 41%, für Frankreich bei 38,6% und für Deutschland – ebenso wie für China – bei 28,6%.

le zählen. Es ist daher nicht überraschend, dass sich das Investitionsverhalten auf Fahrzeugtypen konzentriert, die durch eine hohe Multifunktionalität gekennzeichnet sind.²³ Die Hersteller treiben also vorrangig die Entwicklung von Fahrzeugtypen voran, die durch eine prinzipielle Verwendbarkeit verschiedener Antriebstechnologien gekennzeichnet sind.

Ein weiterer bedeutsamer Investitionsbereich betrifft die Weiterentwicklung der Batterietechnologie, die eine Schlüsselkomponente für die zukünftige Marktentwicklung im Bereich der Elektromobilität darstellt.²⁴ Zum einen wird argumentiert, dass ohne grundlegende Innovationen im Batteriebereich, die die Reichweite auf 500 bis 700 km pro Batterieladung deutlich verlängern, sowie eine Verkürzung der Ladezeiten auf fünf bis zehn Minuten ein massenhafter Absatz von Elektrofahrzeugen auch 2020 nicht zu erwarten ist. Darüber hinaus sind die Batteriekosten ein wesentlicher Bestimmungsfaktor der wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit von Elektrofahrzeugen. Allerdings divergieren Prognosen der Kostenentwicklung von Batterien in den nächsten Jahren stark. Am besten geeignet sind Prognose-Modelle, bei denen die gesamten Batteriekosten in verschiedene Teilkostenkomponenten (Arbeitskräfteeinsatz, F&E, Materialien, Abschreibungen, Ausschuss, Handelsspanne etc.) zerlegt werden, um unter Berücksichtigung der Kosteneinflussfaktoren für jede dieser Komponenten sowie unter der Annahme eines bestimmten Produktionsvolumens die zukünftige Entwicklung der gesamten Batteriekosten abzuschätzen.

Entsprechende Modellsimulationen führen zu dem Ergebnis, dass 70% bis 75% der Batteriekosten mit dem Produktionsvolumen variieren, d.h. in Abhängigkeit von der Herstellungsmenge können Skaleneffekte und damit niedrigere Preise erzielt werden, die bis 2020 zu einer schrittweisen Reduzierung der Batteriekosten führen sollen. Allerdings zeigen diese Modellrechnungen auch, dass bei 25% bis 30% der Batteriekosten (bzw. der entsprechenden Komponenten, zu denen benötigte Rohstoffe ebenso wie handelsübliche Teile einer Batterie zählen) keine Skaleneffekte zu erwarten sind. Gegenwärtig wird das Volumen des Batteriemarktes für Elektrofahrzeuge weltweit auf rund 17 Mrd. Euro geschätzt, wobei mit einer Intensivierung des globalen Wettbewerbs entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Batterien zu rechnen ist. Insbesondere im Bereich der Herstellung von Batteriezellen wird der Konkurrenzkampf zwischen den Produzenten besonders stark ausfallen. Mittel- bis langfristig führt dies dazu, dass den Herstellern von Batteriezellen eine Schlüsselstellung innerhalb des gesamten Marktes für Elektromobilität zukommen wird. Dessen Wachstum hängt damit entscheidend vom Innovationsverhalten im komplementären Batteriemarkt

ab. Schaut man sich die Patentaktivitäten in diesem Bereich an, ist deren Zahl im Zeitraum von 1999 bis 2008 weltweit um 17% gestiegen. Dies entspricht einem doppelt so schnellen Wachstum wie in den zehn Jahren zuvor.²⁵

Neben dem Batteriemarkt stellt die Bereitstellung der benötigten Stromladeinfrastruktur einen weiteren wichtigen Komplementärmarkt der Elektromobilität dar. Geht man beispielsweise von insgesamt 14 Mio. Elektrofahrzeugen in Westeuropa, den USA, Japan und China 2020 aus, werden die Kosten zum Errichten einer komplementären Ladeinfrastruktur auf rund 14 Mrd. Euro geschätzt, wovon allein 70% auf Westeuropa und die USA entfallen sollen. Bis 2015 wird die Zahl der Ladestationen weltweit bis auf 4,7 Mio. ansteigen, wobei von den bis dahin neu verkauften Ladestationen allein die Hälfte von Unternehmen aus China stammen wird, die bereits aktuell über komparative Vorteile in diesem Bereich verfügen.²⁶ Ohne nachhaltige F&E-Anstrengungen der westlichen Industrieländer besteht die Gefahr, dass ein noch größerer Teil des Marktes für Ladestationen in Zukunft an die asiatische Konkurrenz verlorengehen wird.

Auswirkungen auf Rohstoff- und Energiemärkte

Bei einer verstärkten Nutzung von Elektrofahrzeugen sollte aus gesamtwirtschaftlicher Sicht auch ein besonderes Augenmerk auf der zukünftigen Entwicklung der relevanten Rohstoffmärkte liegen. In dem Maße, wie die Lithium-Ionen-Batterien durch eine hohe Leistungsfähigkeit gekennzeichnet sind, ist davon auszugehen, dass die Nachfrage nach diesem Leichtmetall in den kommenden Jahren deutlich ansteigen wird. Aktuelle Prognosen folgend soll sich der Markt für diesen Batterie-Typ bis 2020 auf ein Umsatzvolumen von rund 34,5 Mrd. Euro verdreifachen.²⁷ Allerdings ist nicht davon auszugehen, dass alle Unternehmen, die aktuell entsprechende Batterien auf dem Markt anbieten, von dieser positiven Entwicklung profitieren werden. So ist die gesamte Branche – vergleichbar der IKT-Branche zu Beginn der 1990er Jahre – neben einigen großen Unternehmen durch eine Vielzahl kleinerer Betriebe gekennzeichnet, von denen nicht alle den anstehenden hohen Investitionsbedarf bewältigen können werden. Folglich ist mit Insolvenzen einzelner Unternehmen in diesem Bereich zu rechnen.

23 Vgl. hierzu auch T. Döring, B. Aigner-Walder, a.a.O., S. 118.

24 Vgl. hierzu und zu den nachfolgenden Ausführungen Boston Consulting Group: The Comeback ..., a.a.O.

25 Vgl. zu den genannten Zahlenwerten Boston Consulting Group: Batteries for Electric Cars ..., a.a.O., S. 10 ff. Hinsichtlich der verschiedenen Batterietypen waren dabei in Westeuropa, den USA, Japan und China knapp 62% der Patentanmeldungen im Bereich der Speichertechnologie auf Lithium-Ionen-Batterien konzentriert, deren Zahl allein innerhalb des Zeitraums von 2005 bis 2008 um 26% angestiegen ist.

26 Vgl. Boston Consulting Group: The Comeback ..., a.a.O., S. 5 ff.; Deutsches Clean Tech Institut, a.a.O. Es wird davon ausgegangen, dass dadurch der Energiebedarf im Zeitraum von 2020 bis 2030 weltweit um jährlich 1% ansteigen wird.

27 Vgl. T. Döring, B. Aigner-Walder, a.a.O., S. 120, mit weiteren Literaturhinweisen.

Des Weiteren erfolgt gegenwärtig mehr als 30% der globalen Produktion von Lithium durch ein einziges Unternehmen (SQM) in Chile, womit sich die Gefahr einer marktbeherrschenden Stellung mit entsprechend negativen Folgen für die künftige Preisentwicklung dieses Rohstoffes verbindet. Hinzu kommt, dass aus Sicht der Industrieländer die mengenmäßig größten Vorkommen von Lithium in geopolitisch unsicheren Regionen liegen (Bolivien, Afghanistan, China). Bisweilen wird sogar vermutet, dass die weltweiten Lithium-Vorkommen für eine Massenfertigung entsprechender Batterien nicht ausreichend sind. Mit beiden genannten Punkten verbindet sich die Schlussfolgerung, dass die aktuell im Mobilitätssektor bestehende Abhängigkeit von einem immer knapper werdenden Rohstoff (hier: Erdöl) lediglich durch die Abhängigkeit von einem anderen (sehr) knappen Rohstoff (Lithium) ersetzt wird. Aktuelle Schätzungen gehen allerdings davon aus, dass die bekannten Lithium-Vorkommen – selbst für den Fall einer stark ansteigenden Nachfrage – über eine zeitliche Reichweite von mehr als 100 Jahre verfügen.²⁸ Nichtsdestotrotz ist festzustellen, dass die für die Zukunft erwartete Knappheit dieses Rohstoffs bereits in der Gegenwart für Spekulationen und damit einer Verteuerung von Lithium an den globalen Rohstoffbörsen sorgt.²⁹

Eine Betrachtung der zum Markt für Elektrofahrzeuge komplementären Märkte wäre unvollständig, wenn der Energiemarkt und seine zukünftige Entwicklung nicht einbezogen wird. In Hinblick auf die Mengen- und Preiseffekte der in Deutschland bestehenden Versorgungsstruktur zeigen Studien,³⁰ dass bereits eine relativ kleine Zahl von Elektrofahrzeugen bei einem ungesteuerten Stromladeverhalten zu einer problematischen Leistungsnachfrage führen kann. Dies gilt insbesondere dann, wenn Elektrofahrzeuge in nennenswerter Zahl im Berufsverkehr genutzt werden, um nach Feierabend aufgeladen zu werden. Dann würde das Aufladen der Elektrofahrzeuge mit der ohnehin allabendlich vorhandenen Spitzenlast zusammentreffen, d.h. zu einem Zeitpunkt, wo die freien Energieerzeugungskapazitäten sehr gering sind und der zusätzliche mengenmäßige Mehrbedarf zu steigenden Energiepreisen führt. Eine gezielte Lastverschiebung durch intelligente Steuerung der Stromladezeiten in die Nacht, wo genügend freie Kraftwerkskapazitäten verfügbar sind, würde nicht nur dazu beitragen, die Stabilität des Ver-

sorgungsnetzes aufrechtzuerhalten, sondern könnte bei flexibler Preisgestaltung je nach Stromladezeit auch dafür sorgen, dass ein Teil der mit einer effizienteren Netzauslastung verbundenen Unternehmensgewinne an die Konsumenten weitergegeben werden.

Strukturwandel im Automobilsektor

Nach der Boston Consulting Group³¹ hängt die zukünftige Entwicklung der Nachfrage nach Fahrzeugen mit unterschiedlicher Antriebstechnologie vor allem von der Entwicklung der Rohölpreise ab. Um den daraus resultierenden „Substitutionsdruck“ im Automobilmarkt zu simulieren, wurde eine Modellrechnung durchgeführt, bei der die verschiedenen Marktanteile für Neuzulassungen 2020 bezogen auf fünf verschiedene Antriebstechnologien (reine Elektrofahrzeuge, Elektrofahrzeuge mit Reichweitenerweiterung, Hybridfahrzeuge einschließlich Elektroantrieb, Benzinfahrzeuge, Dieselfahrzeuge) unter Einbezug von vier Schlüsselmärkten (Westeuropa, USA, Japan, China) sowie im Rahmen von drei unterschiedlichen Szenarien bezüglich der Rohölpreisentwicklung (Preisverfall auf 40 Euro je Barrel, konstanter Preis in Höhe von 100 Euro je Barrel, Preisanstieg auf 220 Euro je Barrel) betrachtet wurden. In allen drei Modellrechnungen und in allen vier betrachteten Märkten bleiben konventionelle Verbrennungsmotoren (Benzin und Diesel) auch 2020 die dominante Antriebstechnologie. Der Marktanteil von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben schwankt demgegenüber je nach Szenario zwischen 12% und 45%, wobei im Fall eines auf dem heutigen Niveau konstant bleibenden Rohölpreises mit einem Marktanteil von 28% gerechnet werden kann.

Bezogen auf verschiedene Fahrzeugkategorien wird in der Studie darüber hinaus davon ausgegangen, dass reine Elektrofahrzeuge noch am stärksten innerhalb des urbanen Raumes zum Einsatz kommen werden.³² Schon innerhalb der Gruppe der „Kleinwagen“ wird dieser Antriebstechnik eine geringere Relevanz beigemessen, wobei als Gründe für diese Einschätzung sowohl auf das Problem der geringen Reichweite als auch die im inter-urbanen Raum nicht hinreichende Ausstattung mit Stromladestationen verwiesen wird. In den beiden Kategorien der mittelgroßen und großen Fahrzeuge werden innerhalb der alternativen Antriebstechnologien vor allem Hybrid-Fahrzeugen die größten Marktchancen eingeräumt (geschätzter Marktanteil 2020: 18% bis 26%). Es ist jedoch zu beachten, dass die Ergebnisse der Modellrechnung mit Unsicherheiten verbunden sind.

Mit einer größeren Prognosesicherheit ist demgegenüber die Einschätzung versehen, dass bei einer verstärkten Nut-

28 Vgl. auch Deutsches Clean Tech Institut, a.a.O., S. 33.

29 Vor diesem Hintergrund ist verständlich, dass neben der reinen Förderung von Lithium zur Herstellung von Batterien auch das Recycling von Batterien an Bedeutung gewinnt. Da die Wiederverwertung von in der Batterie enthaltenen (knappen) Rohstoffen sowohl arbeits- als auch energieintensiv ist, zählt die Entwicklung fortschrittlicher Recycling-Technologien in diesem Bereich zu einer der Zukunftsaufgaben der Elektromobilität, vgl. T. Döring, B. Aigner, a.a.O., S. 39.

30 Vgl. W.-P. Schill: Elektromobilität – Kurzfristigen Aktionismus vermeiden, langfristige Chancen nutzen, in: DIW Wochenbericht, 77. Jg. (2010), Nr. 27-28, S. 3-9; oder auch W.-P. Schill: Electrical Vehicles in Imperfect Electricity Markets – A German Case Study, DIW Discussion Papers, Nr. 1084, Berlin 2010.

31 Vgl. zu den nachfolgenden Modellierungsergebnissen Boston Consulting Group: The Comeback ..., a.a.O.

32 Vgl. hierzu auch F. Pötscher, R. Winter, G. Lichtblau, a.a.O., S. 59 ff.

zung von Elektrofahrzeugen das Geschäft mit den Motoren in Zukunft erheblich an wirtschaftlicher Bedeutung gewinnen wird. Dabei ist damit zu rechnen, dass vor allem die Zulieferunternehmen den Fahrzeugherstellern Wertschöpfungsanteile streitig machen werden. Ausschlaggebend für diese Verschiebung innerhalb der Wertschöpfungskette dürfte sein, dass im Unterschied zum Markt für Verbrennungsmotoren der Komponentenmarkt für Elektromotoren und Batterien nach jüngsten Schätzungen volumenmäßig mehr als doppelt so groß sein wird. Allein im Bereich der Motoren wird hierbei bis 2030 mit einem Umsatzzuwachs in Deutschland von etwa 150% auf dann 459 Mrd. Euro gerechnet. Damit wird der erwartete Umsatzzuwachs im Bereich der Herstellung von Antrieben wesentlich schneller verlaufen als im Bereich der Fahrzeugproduktion. Inwieweit dabei die bestehenden Innovationsvorsprünge asiatischer Unternehmen im Komponentenmarkt für Elektromotoren (vor allem bei der Batterietechnologie) aus europäischer Sicht aufgeholt werden können, kann noch nicht abgeschätzt werden. Soll jedoch eine dauerhafte Importabhängigkeit verbunden mit einem Verlust an Wertschöpfungsanteilen und Arbeitsplätzen im Automobilsektor vermieden werden, sind erhebliche F&E-Anstrengungen erforderlich, wobei allein für Deutschland der Bedarf an entsprechenden F&E-Mitteln auf rund 4 Mrd. Euro geschätzt wird.

Jenseits der großräumigen Strukturverschiebungen im globalen Maßstab wird es aber auch bezogen auf den Automobilsektor in den einzelnen Ländern zu einem Strukturwandel kommen. Dabei werden insbesondere die Bereiche der Informations- und Kommunikationstechnik, der Energieversorgung sowie der traditionellen Automobilhersteller in Zukunft enger zusammenarbeiten müssen, um geeignete Geschäftsmodelle zu entwickeln, die im Unterschied zur Vergangenheit nicht mehr allein auf den Verkauf von Fahrzeugen ausgerichtet sein werden, sondern vielmehr die Vermittlung attraktiver umfassender Mobilitätskonzepte zum Gegenstand haben werden. Dabei haben alle Elemente der neuen Wertschöpfungskette (Rohstoffbeschaffung, Fahrzeugherstellung, Zulieferung bei Motoren, Batterien und Leistungselektronik, Stromversorgung und Ladestationen, neue Geschäfts- und Dienstleistungsmodelle) das Potenzial zur Schaffung von zusätzlichen Arbeitsplätzen.

Für Deutschland wird dabei bis 2020 mit rund 250 000 neu generierten Arbeitsplätzen gerechnet.³³

Ausblick

Angesichts der Eigenschaften und ökonomischen Effekte von Elektromobilität ist noch offen, ob der von der Bundesregierung bis 2020 politisch als wünschenswert angesehene Nutzungsgrad dieser Antriebstechnologie auch tatsächlich realisiert werden kann. Dies schließt jedoch nicht aus, dass in bestimmten Marktnischen der Gebrauch von Elektrofahrzeugen umweltbezogen wie in wirtschaftlicher Hinsicht als zweckmäßig eingestuft werden kann. Dies betrifft vor allem den urbanen Raum, wo die geringe Reichweite keine oder eine untergeordnete Rolle spielt. Zudem eignen sich die städtischen Verdichtungs- und Agglomerationsräume nicht nur für eine verstärkte Nutzung von Elektroautos, sondern auch von E-Fahrrädern und E-Motorrädern. Für die Überwindung größerer räumlicher Distanzen dürften demgegenüber am ehesten Hybridfahrzeuge für eine größere Nachfrage sorgen.

Die mit der Elektromobilität verknüpfte Erwartung positiver ökologischer Effekte wird sich nur dann erfüllen, wenn der nationale oder regionale Energiemix weit überwiegend aus regenerativen Energienquellen besteht. Zudem ist die gesamte Wertschöpfungskette bei der Beurteilung der ökologischen Wirkung von Elektrofahrzeugen in den Blick zu nehmen, was in der Regel zu einer Verschlechterung der Umweltbilanz dieser Antriebstechnologie im Vergleich zu konventionellen Antriebstechniken führt. Ob der Elektromobilität mittel- bis langfristig der Durchbruch gelingt und es in der Tat zum Strukturwandel innerhalb des Automobilsektors kommt, hängt letztlich sowohl vom technischen Fortschritt vor allem im Bereich der Energiespeichertechnik als auch von der (Preis-)Entwicklung auf den komplementären Rohstoff- und Energiemärkten ab, da beide Faktoren einen entscheidenden Einfluss auf das Kostensenkungspotenzial bzw. die Wirtschaftlichkeit und damit die gesellschaftliche Durchsetzungsfähigkeit von Elektromobilität haben.

³³ Vgl. zu dieser Einschätzung und den nachfolgenden Ausführungen Deutsches Clean Tech Institut, a.a.O., S. 70 f.; F. Pötscher, R. Winter, G. Lichtblau, a.a.O., S. 65 ff.; ebenso wie McKinsey, a.a.O., S. 27.

Title: *Is there a Future for E-Mobility?*

Abstract: *The paper focuses on whether e-mobility has a feasible chance of market penetration and social acceptance from an economic point of view. This includes a critical assessment of the ecological benefits as well as the other advantages of e-mobility. Furthermore, the likelihood of consumers switching from conventional vehicles to e-vehicles is considered by taking into account the opportunity costs related to such a substitution. Finally, additional macro-economic considerations show that factors such as the development of the battery market as well as increasing oil prices determine the prospective competitiveness of e-vehicles and subsequent structural changes within the mobility sector significantly.*

JEL-Classification: L91, Q55, R41