

Zukunftstechnologien: Förderung von Elektroautos – wie sinnvoll ist die Unterstützung einzelner Technologien?

3

Ist die Förderung von Elektroautos im Rahmen des nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität sinnvoll?

Potentiale der Elektromobilität aus Sicht der Fraunhofer-Gesellschaft

Begrenzte Ressourcen, die CO₂-Debatte und der Schutz unserer Umwelt sind beherrschende Themen in der öffentlichen Diskussion. Es ist mittlerweile Konsens, dass der effiziente Umgang mit Energie eine der vordringlichsten Herausforderungen der Zukunft darstellt. Das ist gut so!

Von der Gebäudetechnik bis hin zum Personen- und Güterverkehr – in allen Bereichen des täglichen Lebens stehen erhebliche Umwälzungen bevor. Ein brandaktuelles Thema ist die Elektromobilität. Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen arbeiten hier Hand in Hand an der Verwirklichung rein elektrisch betriebener Fahrzeuge sowie der notwendigen Infrastruktur.

Auch die Fraunhofer-Gesellschaft hat die Wichtigkeit des Themas seit langem erkannt. Neben vielen weiteren Initiativen wurde vor kurzem das Verbundprojekt »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität« gestartet. In diesem arbeiten 33 Fraunhofer-Institute daran, den Wandel zu einer nachhaltigen »All-electric Economy« wirkungsvoll zu unterstützen.

Der Begriff Systemforschung ist hierbei Programm. Er verdeutlicht, dass alle Wertschöpfungsstufen der Elektromobilität aufeinander abgestimmt zu entwickeln sind. Dies betrifft sowohl den Bereich der Energieerzeugung, den Transport und die Verteilung der Energie durch die Stromnetze, die Schnittstellen zwischen Stromnetz und Fahrzeug, die Energiespeicherung als auch neue Fahrzeugkonzepte mit einer neuen Infrastruktur sowie Nutzungs- und Abrechnungskonzepten. Nur durch die abgestimmte Entwicklung aller relevanten Bausteine wird die Vision einer elektromobilen Gesellschaft realisierbar werden.

Doch warum sind sich die Wissenschaftler so sicher, dass ihre Arbeit nachhaltig ist und nicht nur auf einem kurzfristigen Hype beruht? Wer sagt ihnen, dass auf den Märkten der Zukunft Platz für elektrisch betriebene Fahrzeuge ist? Könnten die immensen Potentiale doch noch durch technische Unwägbarkeiten in Frage gestellt werden? Auch Fraunhofer kann diese Fragen zum jetzigen Zeitpunkt natürlich nicht mit vollständiger Sicherheit beantworten. Alleine die zu erwartenden Möglichkeiten und aktuelle Prognosen geben aber mehr als ausreichenden Rückenwind – und sind Grund genug, mit aller Kraft und Motivation die Verwirklichung der elektromobilen Zukunft mit zu gestalten.

Im Sinne der zukünftigen »Art of Mobility« muss die gesamte Breite der motorisierten Fahrzeuge, vom Elektrofahrzeug bis hin zum schweren Nutzfahrzeug betrachtet werden. Unter diesem Blickwinkel erscheint ein zweistelliger Marktanteil von Elektrofahrzeugen im Jahr 2020 machbar, für 2030 ist eine 50%ige Durchdringung als realistisch anzusehen. Die Elektrifizierung des Verkehrs wird hierbei eindeutig von urbanen Bereichen ausgehen und sich dann nach und nach auch auf die ländlichen Gebiete ausbreiten. Hierzu passt der Trend zu Megacities, bei denen die Vermeidung lokaler Fahrzeugemission höchste Priorität haben wird. Elektromobilität wird in diesem Umfeld der wichtigste Impulsgeber für lebenswertes »Urban Life« sein.

Auch der Beitrag des elektrischen Fahrens zur CO₂-Reduktion ist nicht zu unterschätzen. Aktuelle Studien zeigen, dass selbst bei Verwendung von Strom aus Kohle- oder Ölkraftwerken bereits leichte Verbesserungen der CO₂-Bilanz realisierbar sind. Von signifikanter Bedeutung wird



Ulrich Buller*



Holger Hanselka**

* Prof. Dr. Ulrich Buller ist im Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft.

** Prof. Dr. Holger Hanselka, Fraunhofer-Gesellschaft.

die Einsparung von Treibhausgasen aber erst, wenn in großem Umfang regenerative Energien genutzt werden. Die notwendige Zusatzenergie für das elektrische Fahren ist hierbei darstellbar: Bei Annahme von 50% Elektro- und Hybridfahrzeugen im Jahr 2050 summiert sich die dann hierfür benötigte Energiemenge auf nicht mehr als 85 TWh (zum Vergleich: Deutschland produziert heute pro Jahr ca. 600 TWh an elektrischer Energie).

Warum stellen wir uns also nicht kurzfristig auf rein elektrisches Fahren um – und was sind die Herausforderungen auf dem Weg zur elektromobilen Gesellschaft? Die Bandbreite der Themen umfasst sicherlich zum einen die Reichweite, Lebensdauer und Kosten der benötigten Batterien sowie eine geeignete Lade-Infrastruktur und effiziente Abrechnungskonzepte. Zum anderen gilt es, leistungsfähige und haltbare elektro-mechanische Komponenten (weiter) zu entwickeln. Die Zuverlässigkeit und (Crash-)Sicherheit der kommenden Fahrzeuggenerationen ist hier von gleicher Bedeutung wie Komfort und Preis.

Letztendlich steht aber der Kunde im Mittelpunkt – für ihn müssen attraktive Produkte in ausreichender Stückzahl verfügbar sein. Primär gilt es deshalb im ersten Schritt, die Kosten für Elektrofahrzeuge inkl. Batterie auf ein Niveau abzusenken, welches vom Markt akzeptiert wird. Fahrzeugtaugliche Batteriezellen auf Li-Ionen-Basis werden heute mit Kosten von mehr als 800 € pro kWh taxiert. Experten gehen davon aus, dass im Bereich von 300 € pro kWh eine Grenze der darstellbaren Serienkosten liegt. Hierdurch wird klar, dass der Li-Ion-Batteriemarkt sehr wahrscheinlich durch Leasing- oder Mietkonzepte charakterisiert sein wird. Dies kann sich natürlich grundlegend ändern, wenn neue Speichertechnologien »Beyond Lithium-Ion« zur Serienreife gebracht werden.

Auf jeden Fall wird die Frage nach fahrzeugseitig fest installierten Batterien auf der einen Seite und Wechselsystemen auf der anderen Seite die öffentliche Diskussion noch längere Zeit beherrschen. Kritiker der Wechselsysteme führen die hohen Logistik- und Lagerkosten für Wechselbatterien sowie Haftungsfragen an, während die Befürworter den kompletten Austausch der Energiespeicher an Tankstellen bzw. Servicepoints als einzige Möglichkeit sehen, um Fragen der Reichweitenbeschränkung wirkungsvoll zu begegnen. Die Fraunhofer-Gesellschaft wird als neutraler Forschungs-Dienstleister konzeptionell beide Wege analysieren und mit entsprechenden Studien helfen, zukünftig die »richtigen« Entscheidungen zu treffen.

Von Seite der Fahrzeughersteller bringt die Elektromobilität viele Herausforderungen mit sich – aber auch eine Fülle neuer konstruktiver Gestaltungsmöglichkeiten. So kann der Bau- raum, welcher im verbrennungsgetriebenen Fahrzeug für den traditionellen Antriebsstrang benötigt wird, im Elektro-

mobil teilweise oder sogar vollständig entfallen oder anderweitig genutzt werden. Dem vollständigen Verzicht auf mechanische oder hydraulische Lenk- und Antriebs- bzw. Bremsen-Elemente stehen zurzeit nur noch Fragen der Sicherheit und Systemzuverlässigkeit entgegen. Diese technologischen Hürden sind jedoch mit gezielten Forschungsinitiativen zu meistern, so dass die Vision der reinen Drive-by-Wire-Konzepte umsetzbar erscheint. Fahrzeuge der Zukunft werden deshalb nicht nur technologisch, sondern auch in Form und Design den Wandel zur Elektromobilität widerspiegeln. Der Fantasie sind hier (fast) keine Grenzen gesetzt, was viele aktuelle Konzeptstudien bereits eindrucksvoll be- weisen.

Neben der reinen Fahrzeug-, Antriebs- und Batterietechnik sind natürlich auch energiewirtschaftliche Fragestellungen zu lösen. Diese beginnen direkt an der Quelle, denn ein Elektrofahrzeug wird nur so umweltfreundlich wie die Herkunft seines »getankten« Stroms sein. Optimalerweise kommt deshalb regenerative Energie zum Einsatz, wie sie heute schon in großem Umfang in die Netze gespeist wird. Mit steigendem Anteil des Windkraft- oder Solaranteiles im Strommix nimmt dann aber auch die Fluktuation der zur Verfügung stehenden Energie zu. Um die heute bestehenden Speicherkraftwerke zu ergänzen, adressieren aktuelle Forschungsarbeiten gezielt stationäre Speicher- und Pufferlösungen, wie z.B. das Einbringen von Druckluft in unterirdische Höhlen oder weiterentwickelte Redox-Flow-Batterien.

Warum aber nicht die in Zukunft vorhandenen Speicherkapazitäten der Elektrofahrzeuge für die Energiespeicherung nutzen? Diese Idee birgt viele Vorteile und wird deshalb zur Zeit zu Recht diskutiert und entwickelt. Gerade Autos sind für einen großen Anteil des Tages Immobilien – sie stehen geparkt an einem festen Platz. Elektrofahrzeuge könnten also ein Teil des Stromnetzes werden und Fluktuationen mit Hilfe eines Teiles ihrer Batteriekapazität abpuffern. Die Herausforderungen dieses Ansatzes sind sowohl logistisch als auch technologisch geprägt. Es ist zu berücksichtigen, dass die Lebensdauer der Batterie durch zusätzliche Zyklen der Stromzufuhr und -entnahme beeinflusst wird. Die maximal mögliche Pufferenergie, welche ein Fahrzeug bereitstellt, muss somit sinnvoll begrenzt werden. Gleichzeitig müssen dem Kunden geeignete Ladestationen zur Verfügung gestellt werden, die ein komfortables An- und Abkoppeln des Fahrzeugs ermöglichen. Auf der logistischen Seite gilt es, zu jedem Zeitpunkt ein jeweils optimales Set-Up der Strombereitstellung zu finden. Hierdurch sollen die zukünftig vorhandenen Pufferkapazitäten der Elektrofahrzeuge optimal genutzt und die kostenintensive Zuschaltung von Gasturbinen auf ein Minimalmaß reduziert werden.

Die weitreichenden Visionen, welche neuen Möglichkeiten eine elektromobile Gesellschaft bieten wird, führen direkt zu innovativen Geschäftsmodellen. Schon alleine die An-

kopplung von Elektrofahrzeugen an öffentliche »Stromtankstellen« bedarf eines kundenfreundlichen Abrechnungssystems. Hier sind viele Ansätze denkbar, die das tägliche Leben in der elektromobilen Gesellschaft wesentlich prägen könnten – von Prepaid-Systemen über die automatische Abrechnung, z.B. über die Telefon- oder Stromrechnung, bis hin zu Erkennung des Kunden durch Funkchips oder Mobiltelefon. Denkbar ist, vergleichbar mit dem heutigen Prinzip der Mobilfunkverträge, zukünftig auch der Kauf von »Mobilität« durch den Kunden. Er würde dann gegen eine monatliche Grund- und/oder Laufleistungsgebühr ein Fahrzeug zum geringen Preis gestellt bekommen. Der Phantasie sind hier keine Grenzen gesetzt.

Was sind also die Erfolgsfaktoren der Elektromobilität in Deutschland und Europa? Es ist sicherlich unabdingbar, mit Hilfe von Forschungsinitiativen die notwendigen Schlüsseltechnologien und Kompetenzen zu erarbeiten. Die Bundesregierung hat sich mit der Verabschiedung des »nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität« richtungsweisend positioniert. Alle wesentlichen Akteure haben somit eine grundlegende Planungssicherheit. Aus den Mitteln der Konjunkturprogramme wurden maßgebliche Projekte in der Industrie, an den Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie in den Regionen etabliert. Es gilt nun, die Partner zu vernetzen und die Gestaltung nachhaltiger Lösungen voranzubringen. Sicherlich sind die nationalen Forschungsbudgets im Vergleich zu China und den USA vergleichsweise gering – einen wesentlichen Erfolgsfaktor wird aber die Effizienz der Umsetzung darstellen.

Mit besonderem Interesse werden wir auch die Wirkung von Fördermaßnahmen in Ländern wie China beobachten. Die großflächigen Subventionen werden hier mit großer Sicherheit zu einer überproportionalen Verbreitung von Elektrofahrzeugen führen. Schon aktuell ist der Trend zur »Erst-Mobilisierung« von Regionen, u.a. über Elektrofahrräder, zu beobachten.

Die elektromobile Zukunft wird also spannend. Wir können nur appellieren, national die Kräfte zu bündeln und dafür zu sorgen, dass Deutschland zu einem Vorreiter des elektrischen Fahrens wird. Wenn wir unsere Aktivitäten weiter intensivieren, dann sind wir sicherlich auf einem guten Weg.



Ferdinand Dudenhöffer*



Eva Maria John**

Marktanreizprogramme für Endkunden sind falsch

Nach über 100 Jahren Verbrennungsmotor steht die Automobilindustrie vor einem Paradigmenwechsel. Unsere Autos sollen in der Zukunft aus Klimaschutz- und Umwelterwägungen mit Strom fahren. Einige Autobauer sind dabei, intensiv in die Elektromobilität zu investieren, andere betreiben Vorzeigeprojekte und Chefentwickler merken schon mal im kleinen Kreise an, dass sie in den nächsten 20 Jahren wenig Zukunft für das Elektroauto sehen. Die Risiken, in eine neue Technologie zu investieren, sind für einzelne Unternehmen nicht unerheblich. Um diese Risiken aus dem Wege zu schaffen, soll die neue Technologie »gefördert« werden. So wurde noch unter der großen Koalition im August 2009 der »Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung« verabschiedet. Mit dem »Nationalen Entwicklungsplan«, der in weiten Teilen wenig konkret formuliert ist, soll die Markteinführung von Elektrofahrzeugen beschleunigt werden. Die Bundesregierung strebt mit dem Plan an, dass bis zum Jahre 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren. Zusätzlich soll »Deutschland zum Leitmarkt Elektromobilität werden und die Führungsrolle von Wissenschaft sowie der Automobil- und Zulieferindustrie behaupten« (vgl. Bundesregierung Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung vom August 2009, www.bmu.de). Dazu gehört dem nationalen Entwicklungsplan gemäß auch die Schaffung einer bedarfsgerechten Infrastruktur für das Laden der Fahrzeuge, welche die Bundesregierung durch »geeignete Rahmenbedingungen« unterstützen will.

* Prof. Dr. Ferdinand Dudenhöffer ist Inhaber des Lehrstuhls für allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Automobilwirtschaft sowie Direktor des ÖkoGlobe-Instituts an der Universität Duisburg-Essen.

** Prof. Dr. Eva-Maria John forscht am ÖkoGlobe-Institut und ist Professorin für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Marketing an der FH Gelsenkirchen.

Nach den Ausführungen der Bundesregierung sind die Technologien für elektrische Antriebe, Energiespeicher und Netzinfrastruktur in ihren Grundlagen entwickelt. Forschungsbedarf besteht allerdings an zahlreichen Stellen der Wertschöpfungskette. Insbesondere in der Batteriespeichertechnologie sind in Deutschland nach Einschätzung der Bundesregierung Universitäten, Forschungsinstitute und Unternehmen schwach aufgestellt. Die Leistungsfähigkeit, Kosten, Haltbarkeit, Ladegeschwindigkeit und das Gewicht der Stromspeicher sind eine der ganz zentralen Herausforderungen der Elektromobilität. Deshalb sollen im Rahmen des »Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität« in den nächsten zehn Jahren neben ordnungsrechtlichen Maßnahmen, wie die Unterstützung bei der Batterietechnologie, der Netzintegration und der Marktvorbereitung, auch ein Marktanreizprogramm und dessen Ausgestaltung geprüft werden.

Aus dem Nationalen Entwicklungsplan für Elektromobilität lassen sich direkt drei Fragestellungen ableiten. Erstens, hat es Sinn, dass wir einzelne Technologien, wie die Elektromobilität direkt fördern, oder wäre es nicht sinnvoller, generell Innovationen zur CO₂-Einsparung zu fördern. Zweitens, sollte die staatliche Förderung einer Technologie Sinn haben, ab welchem Zeitpunkt sollte dann die Förderung eingestellt werden und in die Hände von privaten Investoren und Unternehmen gegeben werden. Drittens ist es sinnvoll, neben der Grundlagenforschung dann auch Incentives für die Vermarktung bereitzustellen?

Plädoyer für Grundlagenforschung

Können Technologien nicht vermarktet oder sonst irgendwie gesellschaftlich genutzt werden, besitzen sie keinen Wert. Nur eine Technologie in irgendeiner Schublade zu haben, hat ökonomisch wenig Sinn. Ökonomisch sinnvoll kann durchaus ein Erkenntnisgewinn aus einer Technologie für eine Gesellschaft sein, wenn diese Erkenntnisse in irgendeiner Form, und sei es kulturell, genutzt werden können. Sollten also Batterien und Stromladestationen für Elektroautos öffentlich gefördert werden? Kann davon ausgegangen werden, dass das Elektroauto einen ökonomischen Wert besitzt? Immerhin kam niemand auf die Idee, ein staatliches Förderprogramm für Lithium-Ionen-Akkus für Handys, Laptops oder elektrische Zahnbürsten zu fordern. Eine wichtige Antwort liegt in der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Branche. Die Automobilindustrie erzeugt eine hohe Wertschöpfung in Deutschland. Immerhin sind über 700 000 Menschen in Deutschland direkt bei Autobauern und Zulieferern beschäftigt. Das Risiko, ohne ein Programm für Elektromobilität einen Wettbewerbsnachteil gegenüber anderen Automobilnationen einzufahren, ist hoch. Darin unterscheiden sich Autos von elektrischen Zahnbürsten.

Forschungsförderungsbeispiele aus wichtigen Ländern unterstreichen das Argument. So beabsichtigt Frankreich in den kommenden vier Jahren Forschung und Entwicklung für Hybrid- und Elektrofahrzeuge mit einem Gesamtbudget von 400 Mill. € zu fördern. Eines der größten Förderungsprogramme wurde in China implementiert. China hat 1 Mrd. € für technologische Innovationen für effizientere Antriebstechnologien bereitgestellt. Zusätzlich wird der Ausbau von zehn Pilotregionen mit mehr als 10 000 Fahrzeugen bis zum Jahre 2011 mit 2 Mrd. € gefördert. In Japan unterstützt die Regierung die Batterieforschung mit dem Ziel, die Zellkosten zu halbieren, mit 200 Mill. US-Dollar. Die US-Regierung treibt mit 2 Mrd. US-Dollar die Batterieforschung sowie Komponentenforschung für Elektrofahrzeuge voran und investiert 400 Mill. US-Dollar in Pilotprojekte zur Elektromobilitätsinfrastruktur. So wie in früheren Jahren Brennstoffzellenfahrzeuge oder Sicherheitsinnovationen in der Automobilbranche staatlich gefördert wurden, hat es im Umfeld der Förderung in wichtigen Ländern Sinn, bei der Elektromobilität nicht zurückzustecken. Es wäre ein hohes nationales Risiko, den Paradigmenwechsel in der Automobilindustrie zu unterschätzen.

Das Risiko, im Automobilssektor Wettbewerbsfähigkeit zu verlieren, ist eine Triebfeder für die Förderung der Elektromobilität. Aber wäre es dann nicht besser, Forschungsförderung zu betreiben, bei der generell CO₂-Innovationen mit größter CO₂-Einsparung gefördert werden? Spart ein Elektroauto über seinen gesamten Lebenszyklus mehr CO₂ ein als mit ein Biogas- oder Ethanolbetriebenes Auto? Soll man gleichzeitig in den Verbrennungsmotor und in Elektromobilität zu investieren? Sollten wir uns also den Luxus eines Antriebsmix leisten, oder sind wir mit einer Antriebsart ideal aufgestellt? Sollten wir also nicht statt eine bestimmte Technologie zu fördern, nur Konzepte öffentlich fördern, welche die beste CO₂-Bilanz und Nachhaltigkeit der Energieform garantieren. A priori sind diese Fragen nicht zu beantworten. Nur das Experiment schafft hier die Erkenntnis. Nach heutigem Wissensstand der Ingenieurwissenschaften zählt die Elektromobilität zu den entscheidenden Technologien, die beste CO₂-Bilanz und Nachhaltigkeit der Energieform kombinieren. Deshalb ist die Grundlagenforschung in Elektromobilität richtig.

Wann endet Grundlagenforschung, wann beginnt die Vermarktung

Generell gilt die Daumenregel, dass Investitionsprojekte mit langen Amortisationszeiten in der Industrie eher aussortiert werden. Je länger die Amortisationszeit, umso größer fallen üblicherweise die Schwankungen zukünftig prognostizierter Umsätze und Gewinne aus. Zusätzlich steigt das Risiko, dass Wettbewerber mit Substitutionsprodukten oder kostengünstigeren Produktionsverfahren die Mittelwerte der

prognostizierten Umsätze und Gewinne drücken. Zum zweiten drückt der Zinssatz. Je später die Gewinne anfallen, umso schwieriger wird es, den Kapitalwert einer Investition positiv zu gestalten.

Ein Beispiel verdeutlicht das Problem. Unterstellen wir eine Investition, die im fünften Jahr zu einem Einnahmestrom von 10% der Investitionssumme führt und dieser Einnahmestrom jährlich um 10% steigt. Bei einem Zinssatz von 5% braucht der Zahlungsstrom 15 Jahre, bis die Investitionssumme zurückgeflossen ist. Beginnt der Einnahmestrom erst im zehnten Jahr, müssen wir 22 Jahre warten, bis die Investitionssumme zurückgeflossen ist. Dies sind Zeiträume, die selbst für große Unternehmen nur »überschaubare« Projekte realisieren lassen. Ladeinfrastruktur, Batterieforschung und Konzeptfahrzeuge haben damit überwiegend den Charakter von Grundlagenforschung. Serienentwicklungen bei Elektrofahrzeugen, wie etwa bei Renault-Nissan, lassen sich dagegen mit den üblichen Kalkulationsmustern der Autobauer ohne staatliche Förderung realisieren. Eines der Beispiele hierzu ist Renault-Nissan. So hat der Konzern nach Angaben seines Vorstandsvorsitzenden Ghosn in den letzten Jahren über 4 Mrd. € in ein Elektroprojekt investiert. Bereits ab 2011 werden Serienfahrzeuge von Renault-Nissan in Märkten wie Japan, USA, Frankreich, Israel verkauft.

Politikersympathie für Marktanreizprogramme

Es ist sinnvoll, Schlüsseltechnologien wie die Elektromobilität zu fördern. Besondere Sympathie bei Politiker genießen Marktanreizprogramme für Endkunden. Dazu gibt es eine ganze Reihe von Beispielen. Obwohl das Erdgasauto bekannte, ausgereifte Technologie war, hat man sich in der Bundesrepublik für die Endkundenförderung von Gasfahrzeugen entschlossen. Da Erdgasfahrzeuge etwa 25% weniger CO₂ emittieren als Benzin- oder Dieselfahrzeuge, wurde willkürlich durch das *Gesetz zur Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform* im Jahre 2002 und das Energiesteuergesetz des Jahres 2006 der Steuersatz auf Erdgas für Fahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr bis 2018 gegenüber Benzinern um fast 80% reduziert. Der hohe Steuervorteil hat weder zur Marktdurchdringung von Erdgasfahrzeugen beigetragen, noch Innovationen bei Verbrennungsmotoren ausgelöst. Es hat also wenig Sinn, willkürlich die Vermarktung von spezieller Technologie zu fördern. Die Ziele müssen vielmehr als Orientierung gelten. Soll CO₂ eingespart werden, ist es nicht sinnvoll, Erdgasautos zu fördern und alle anderen Maßnahmen zu ignorieren.

Ähnlich verhält es sich bei der Elektromobilität. Noch vor der Serieneinführung werden Endkundenprämien ausgelobt, die in einzelnen Ländern einschließlich Steuergutschriften bis zu 10 000 € betragen können (vgl. Kasten). Mit dem Prämien-

Prämien und Steuergutschriften für Elektroautos

- Japan: bis 10 000 €
- Monaco: bis 8 000 €
- China: bis 6 700 €
- Spanien: bis 6 000 €
- Großbritannien: bis 5 600 €
- Frankreich: bis 5 000 €
- Portugal: bis 4 500 €
- USA: bis 5 800 US-Dollar

system plant man, die Skaleneffekte zügig in Gang zu bringen. Nicht nur das Beispiel Erdgasauto zeigt, dass zeitlich befristete Prämien kaum Skaleneffekte forcieren. Entweder ist die Technologie zur Kosteneinsparung – etwa bei Batterien – vorhanden, dann hat der Autobauer die Kraft, dies im Markt umzusetzen. Oder die Technologie ist nicht vorhanden, dann spielt die zeitliche Subventionierung des Endkunden auch keine Rolle. Zusätzlich verzerren Prämien das Preisgefüge. Aus welchem Grund erhalten etwa Elektrofahrzeuge Prämien, während ein Fahrzeug, das sich ausschließlich mit Biogas bewegt, keine Prämien erhält? Unter Umständen wird der Strom aus Braunkohle gewonnen, während der CO₂-Haushalt bei dem Biogasfahrzeuge im Gleichgewicht bleibt. Eine Prämie zu bezahlen, nur weil Strom »chic« ist, kann nicht die Lösung sein. Zeitlich befristete Endkundenprämien verzerren, belasten Staatsbudgets und lösen keine nachhaltige Entwicklung aus. Ist das Ziel die Senkung des CO₂-Ausstoßes, dann sollte der CO₂-Ausstoß besteuert oder CO₂-Einsparungen belohnt werden. Eine willkürliche Endkundenprämie für den Kauf von Elektroautos ist das falsche Instrument.

Forschungsförderung und Bürokratismus

Zusammenfassend lässt sich sagen: Es ist sinnvoll, Technologieforschung in die Elektromobilität staatlich zu fördern. Staatliche Förderung der Elektromobilität hat den Charakter eines nationalen öffentlichen Guts: Da die Risiken für das einzelne Unternehmen zu groß sind, wird er nicht investieren. Gleichzeitig profitiert die Branche in Deutschland als Ganzes. Dies gilt bis zur Marktreife. Die Vermarktung ist Aufgabe von Unternehmen, und eine Endkundenprämie ist nicht notwendig. Prämien könnten nur von Industriepartnern übernommen werden, etwa so wie bei den Erdgasfahrzeugen. Nahezu alle Erdgaslieferanten unterstützen mit Prämien den Kauf dieser Fahrzeuge. Es ist deshalb nicht abwegig zu unterstellen, dass Stromhersteller zukünftig den Kauf von Elektrofahrzeugen unterstützen. Immerhin wird durch Elektroautos bei den Stromlieferanten kräftig Umsatz erzeugt. Stimmt die Technologie, ist auch das Marktinteresse vorhanden.

Die Idee des Marktanschubs ist vermutlich aus einem anderen Grund bei Politikern tief verankert. Politiker kennen die

vielfältigen, zähen und langen Wege der öffentlichen Forschungsförderung. Unsere Systeme der Forschungsförderung scheinen überreguliert und deutlich überverwaltet. Bestes Beispiel ist die Forschungsförderung zur Elektromobilität. Bereits im Mai hatte das Bundesverkehrsministerium auf Grundlage von Landesvorschlägen 115 Mill. € aus dem Konjunkturpaket II für einzelne Musterregionen genehmigt. Endgültige Projektzusagen sind bei den meisten Vorhaben nach sieben Monaten immer noch nicht vorhanden. Vermutlich zieht sich die Forschungsförderung aus dem Konjunkturpaket II ins Jahr 2010, wenn die Konjunktur wieder läuft. Es gibt eine Vielzahl von Forschungsprojekten auf EU-, Bundes- und Landesebenen, die im administrativen Überbau ertrinken. Und so wird nicht allzu selten aus interessanten Forschungsansätzen eher »Leitz-Ordner-« oder »Ablageforschung«. Vielleicht ist das der Grund, warum Politiker so große Sympathie für Endkundenprämien statt Forschungsförderung zeigen.



Marion A. Weissenberger-Eibl*

Bestandteil eines zukünftigen Mobilitätskonzepts

Wir am Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung ISI untersuchen das Thema Elektromobilität nicht nur im Hinblick auf das Elektroauto an sich oder hinsichtlich der Entwicklung einzelner Technologien. Unser Ansatz ist stattdessen die systemische Forschung: Wir untersuchen, welche Auswirkungen der Ausbau der Elektromobilität auf die Gesellschaft hat und wie sich unser Mobilitätsverhalten ändert.

Damit stellen wir nicht nur allein die Frage: »Wie sinnvoll ist die Unterstützung einzelner Technologien zur Förderung von Elektroautos?«, sondern wir beschäftigen uns mit dem »System Mobilität« und erforschen, welche ökonomischen, ökologischen, sozialen und politischen Auswirkungen die Elektromobilität in diesem System hat, welche Innovationen diese Entwicklung unterstützen und welche Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen. Aus diesem Grund stellen wir uns die Frage: »Wie sehen die Mobilitätsszenarien der Zukunft aus?«

Unser Ziel ist es, die Anforderungen der Mobilität von morgen zu identifizieren. Dabei ist es wichtig, neue Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen, um die negativen Folgen der immer knapper werdenden Ressourcen, des Klimawandels und des Umweltschutzes sowie der zunehmenden Feinstaub- und Lärmbelastung zu bewältigen. Aber auch der Wandel der Bevölkerungs- und Siedlungsstruktur sowie ein insgesamt steigendes Mobilitätsbedürfnis von Wirtschaft und Gesellschaft fordern uns heute heraus. Aus diesen Gründen müssen wir unsere bestehenden Mobilitätsangebote radikal überdenken.

* Univ.-Prof. Dr. Marion A. Weissenberger-Eibl ist die Leiterin des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe.

Aufgrund der zunehmenden CO₂-Emissionen durch die Verbrennung knapper werdender fossiler Ressourcen sind im Automobilbau innovative Antriebssysteme ohne oder mit möglichst wenig CO₂-Ausstoß von zentraler ökologischer und ökonomischer Bedeutung. Dabei können Fahrzeuge mit Elektroantrieb eine wichtige Rolle in unseren zukünftigen Mobilitätskonzepten spielen. Wir am Fraunhofer ISI haben deshalb in einer Studie die wesentlichen Parameter der Elektromobilität in einer Wirtschaftlichkeitsanalyse identifiziert und mögliche Zukunftsszenarien entwickelt.

Die Studie hat gezeigt, dass es aus ökologischer Sicht gute Gründe für eine stetig steigende Marktdurchdringung von Elektro- und Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen gibt. Die Elektromobilität weist aufgrund ihrer deutlich höheren Energieeffizienz wesentliche Vorteile gegenüber anderen individuellen Mobilitätslösungen auf und kann so zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen. Wenn man dabei vom aktuellen Strommix ausgeht, ergibt sich immer noch eine positive CO₂-Bilanz gegenüber herkömmlichen Antriebssystemen. Sollte man durch eine stärkere Marktdurchdringung von erneuerbaren Energien sowie mit Hilfe intelligenter Lastverlagerung den Strom besser verteilen können, würde man sogar eine weitere Reduktion der Emissionen erreichen.

Zusätzlich zur Senkung der Treibhausgasemissionen sowie lokaler Emissionen wie Lärm und Feinstaub und der Steigerung der Energieeffizienz hat Elektromobilität weitere Auswirkungen auf unser gesellschaftliches System. So bietet sie die Möglichkeit, regenerative Energien in den Verkehrssektor zu integrieren, indem man sie als Stromspeicher nutzt. Grundsätzlich verstärken sich der Ausbau der Elektromobilität und der erneuerbaren Energien wechselseitig, da Batterien als Speicher dienen können und so die schwankende Stromerzeugung aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen ausgleichen könnten. Damit ist in unserem zukünftigen Mobilitätssystem die Elektromobilität nicht nur ein Mittel zur Fortbewegung, sondern hat den Vorteil, dass sie Lastschwankungen ausgleichen und so CO₂-Emissionen reduzieren kann.

Wenn wir davon ausgehen, Elektroautos zumindest theoretisch als Teil unseres Stromspeichersystems zu nutzen, stellt sich die Frage, ob die Besitzer der Elektromobile ihre Fahrzeuge zur Speicherung zur Verfügung stellen würden. Aus diesem Grund ist ein weiteres Forschungsfeld am Fraunhofer ISI die Frage nach der Kundenakzeptanz: Die Entwicklung der intelligentesten technischen Lösungen bringt nichts, wenn diese nicht auf die Bedürfnisse der Kunden eingehen. Unseren Studien zufolge werden sich elektrobetriebene Fahrzeuge primär in den Märkten durchsetzen, in denen ihre spezifischen Vorteile genutzt werden: kleine Fahrzeuge für den innerstädtischen Verkehr, Elektroroller oder Leichttransporter für den innerstädtischen Lieferverkehr.

Hier schätzen wir die Nachfrage auf etwa 8 Mill. Elektro- und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge bis zum Jahr 2050, das entspricht 17% des heutigen Fahrzeugbestandes. Der Energiebedarf hierfür beträgt 10 bis 15 Terawattstunden. Diese zusätzlich notwendige Strommenge würde keine besonderen Anforderungen an den Bau von Kraftwerken stellen. Wir sehen gute Chancen für die Elektromobilität, beispielsweise bei Elektrorollern, städtischen Zweitwagen, Lieferverkehr in Städten oder bei Pendlern in Umweltzonen sowie bei Kunden mit hohem Umweltbewusstsein – aber eben nicht für alle Einsatzbereiche. Dies ergibt in der Schlussfolgerung ein Pluralismusszenario, bei dem Elektromobilität eine von mehreren verkehrstechnischen Lösungen im System ist.

Der Aufbau einer Beladungsinfrastruktur ist nach Meinung unserer Forscher finanzierbar, da der überwiegende Teil der Beladung zu Hause, an Arbeitsplätzen oder in öffentlichen Parkhäusern passiert. An diesen Orten ist ein Stromanschluss kostengünstig zu installieren. Ein weiterer Vorteil beim Aufbau einer Beladungsstruktur ist, dass ein Auto in Deutschland in 95% seiner Zeit steht. In diesem Zusammenhang müssen wir uns mit der Frage auseinandersetzen, inwieweit sich weitere Beladungskonzepte wie Stromzapsäulen in Städten oder Schnellbeladestationen durchsetzen könnten und wie sich diese Investitionen finanzieren lassen. Dafür ist es wichtig, Geschäftsmodelle für den Aufbau der Betankungsinfrastruktur zu gestalten, bei denen sich mit hoher Sicherheit die Wertschöpfungsstrukturen zwischen Automobilfirmen, Stromanbieter und beispielweise Batterieherstellern verschieben werden.

Besonders die Entwicklung der Batterien stellt uns heute vor große Herausforderungen. Hier sind massive Investitionen in Forschung und Entwicklung dringend nötig, da in Deutschland kaum noch Batterien und Akkus produziert oder weiterentwickelt werden. Außerdem stehen die Entwickler momentan vor der Herausforderung, die Sicherheit, Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit sowie Recycling der Batterien zu verbessern. Um Kompetenzen aufzubauen, fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung die Entwicklung mit dem Forschungsprojekt LIB 2015, an dem neben der Industrie und Universitäten auch mehrere Fraunhofer-Institute beteiligt sind. Unsere Aufgabe in diesem Forschungsprojekt ist das Roadmapping. Im Zentrum dieses Roadmapping-Prozesses steht die Entwicklung der Lithium-Ionen-Batterie, aber auch Aspekte der Marktpräsentation oder Rohstoffverfügbarkeit können so gesamtheitlich abgebildet werden.

Um diesen zukünftigen Bedarf und die Anforderungen für die Elektromobilität vorausschauend zu planen, sind die gerade angesprochenen Roadmapping-Prozesse hilfreich. Diese stellen ein Verfahren zur graphischen Darstellung von Technologiepotentialen und Pfaden sowie zur Integration von Prozessen, Markttreibern und Projekten dar.

Bei dieser vorausschauenden Forschungsmethode wird der technologische Entwicklungsbedarf in Abhängigkeit von marktrelevanten Trends und Produkthanforderungen analysiert. Ziel der Entwicklung einer Roadmap ist es, das Wissen unter allen Beteiligten über die technologische Entwicklung zusammenzufassen. So können wir zukünftige Entwicklungsschritte von bestimmten Technologien zur Förderung der Elektromobilität darstellen und ihre Potentiale bewerten.

Wenn wir von Elektromobilität und der Unterstützung einzelner Technologien sprechen, müssen wir auch die Rohstoffthematik in unsere Überlegung einbeziehen. Rohstoffe sind die Basis für Zukunftstechnologien, da sie oft unersetzliche Grundstoffe für innovative Produkte und damit die Basis für die Entwicklung neuer Technologien sind. Bei der schon angesprochenen Batterieentwicklung sind Lithium und Kobalt essentielle Rohstoffe. Den Bedarf an Rohstoffen und Erden wie Lithium und Kobalt untersuchen wir in unserer Studie »Rohstoffe für Zukunftstechnologien«. Momentan sehen wir keine Engpässe für Lithium, aber andere Erden wie Neodym für die Magnete in den Elektromotoren oder Kupfer für die Wicklungen der Spulen sind voraussichtlich nicht in dem entsprechenden Maße vorhanden.

Aufgrund dieser Endlichkeit der Rohstoffe ist es wichtig, die Wechselwirkungen zwischen dem technologischen Fortschritt und dem Rohstoffbedarf mit in die Planung der Technologien einzubeziehen sowie ihr Recyclingpotential zu prüfen. Wenn wir von Elektromobilität sprechen und uns Gedanken darüber machen, welche Technologien in diesem Zusammenhang zu fördern sind, müssen wir auch der Frage nachgehen, welche Rohstoffe verfügbar sind oder in Zukunft vielleicht durch andere ersetzt werden müssen.

Um den systemischen Gedanken weiter zu verfolgen, müssen wir beim Thema »Mobilitätsszenarien der Zukunft« auch in Betracht ziehen, welche Auswirkungen Rohstoffe für neue Werkstoffe haben. Werkstoffe sind die Basis für die Entwicklung vieler Zukunftstechnologien, die im nächsten Schritt Produkt- und Dienstleistungsinnovationen ermöglichen. Für die Verkehrsszenarien der Zukunft bedeuten Werkstoffe beispielsweise neue, leichtere Materialien, die dazu führen, das Gewicht der Fahrzeuge zu reduzieren, was wiederum einen geringeren Verbrauch und mehr Antriebskraft für das Fahrzeug bedeutet oder neue Materialien für die Batterieentwicklung ermöglicht.

Das bedeutet aber auch, dass der globale Bedarf an wichtigen Rohstoffen langfristig steigt. Viele Rohstoffe sind heute noch in ausreichendem Maße vorhanden, trotzdem kann es in der Zukunft zu Engpässen kommen. Deshalb ist der Ersatz von natürlichen Rohstoffen durch neue Werkstoffe von großem Interesse für zukünftige Technologien für Elek-

tromobile. Hier ist strategische Vorausschau gefragt: Ziel ist es, den zukünftigen Bedarf und die Anforderungen an Werkstoffe frühzeitig identifizieren sowie vorhandene Werkstoffe auf ihre noch unbekanntem Potentiale und Anwendungsmöglichkeiten untersuchen, um langfristig mit Elektromobilen erfolgreich zu sein.

Das Ziel des Fraunhofer ISI ist es, die treibenden Kräften und Rahmenbedingungen der Elektromobilität zu analysieren und in Zukunftsszenarien einzuberechnen, so dass strategische Entscheidungen auf Basis umfassender Analysen und mit Hilfe wissenschaftlich etablierter Methoden der Technologievorausschau getroffen werden können. Dabei ist die Förderung von Elektroautos ein wichtiger Bestandteil unserer zukünftigen Mobilitätskonzepte. Das Schaffen erfolgreicher Rahmenbedingungen als Nährboden und Umfeld für Innovationen ist auf diesem Weg genauso wichtig wie ihr frühzeitiges Erkennen und Fördern.