Herausforderungen bei der Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland

Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Prof. Dr. Axel Ahrens, Dresden, Prof. Dr. Herbert Baum, Köln, Prof. Dr. Klaus J. Beckmann, Berlin, Prof. Dr. Manfred Boltze, Darmstadt, Prof. Dr. Alexander Eisenkopf, Friedrichshafen, Prof. Dr. Hartmut Fricke, Dresden, Prof. Dr. Ingrid Göpfert, Marburg, Prof. Dr. Christian von Hirschhausen, Berlin, Prof. Dr. Günther Knieps, Freiburg, Prof. Dr. Andreas Knorr, Speyer, Prof. Dr. Kay Mitusch, Karlsruhe, Prof. Dr. Stefan Oeter, Hamburg, Prof. Dr. Franz-Josef Radermacher, Ulm, Prof. Dr. Volker Schindler, Berlin, Prof. Dr. Jürgen Siegmann, Berlin, Prof. Dr. Bernhard Schlag, Dresden, Prof. Dr. Wolfgang Stölzle, St. Gallen (Vorsitzender)

Im Zusammenhang der breiten Diskussion um eine Förderung der Elektromobilität wird in dem Beitrag die Technik des Systemguts Elektromobilität ebenso reflektiert wie die Potenziale zur Erreichung der politischen Ziele. Der Wissenschaftliche Beirat plädiert bei der weiteren Entwicklung für Technologieoffenheit, d.h. für Wirkungsorientierung beispielsweise hinsichtlich Reduktion von CO_2-Emissionen und Einsatz regenerativer Energie, statt Technikorientierung sowie für die Durchführung weniger großer – zwischenzeitlich beschlossener – Schaufensterprojekte und für eine kritische Reflektion der infrastrukturellen und institutionellen Aspekte. Voraussetzung für die Förderung Deutschlands als Leitmarkt und Leitanbieter sind eine zügige internationale Standardisierung, eine Integration in ganzheitliche Mobilitätskonzepte wie auch Zurückhaltung beim Einsatz monetärer Anreize im Hinblick auf einen Einsatz nicht-monetärer Anreize – z.B. privilegierender Art – plädiert der Beirat für abwägende Prüfungen – vor allem auch unter Beachtung möglicher kontraproduktiver Effekte, z.B. bei der Freigabe von Busspuren. Beim Aufbau von Ladeinfrastrukturen wird für einen abgetrennten Einsatz privater, semi-öffentlicher und öffentlicher Anlagen plädiert, deren Finanzierung aber nicht (allein) öffentliche Aufgabe sein kann.

In the context of a wider discussion regarding the promotion of electric mobility, the article reflects on the technology of electric mobility as well as on the potential for achieving political goals. The scientific advisory board argues for the further development of transparency regarding technology. This demands an orientation towards impact, considering the reduction of CO_2-emissions and the use of renewable energy, for example, rather than an orientation towards technology. The board also appeals for the implementation of several major showcase projects, which have in the meantime been concluded, and for the critical consideration of infrastructural as well as institutional aspects. Preconditions for the promotion of Germany as a leading market and leading supplier include swift international standardisation, the integration of uniform mobility concepts and a careful approach in using monetary incentives. With respect to the use of non-monetary incentives – e.g. certain privileges – the board pleads for balanced tests, especially considering possible counter-productive effects, e.g. when approving bus lanes. In setting up the loading infrastructure, the separate use of private, semi-public and public installations is requested, the financing of which, however, should not (only) be a public task.

1 Problemstellung

Dem Thema Elektromobilität kommt derzeit eine große Bedeutung in der Wirtschafts-, Verkehrs-, Innovations-, Forschungs- und Umweltpolitik sowie anderen Politikbereichen zu.[1] Allerdings erfolgt die aktuelle Diskussion weitgehend unter dem Druck von Entscheidungen für bzw. wider kurzfristiger finanzieller Maßnahmen der Absatzförderung („Kaufprämie"). Demgegenüber werden längerfristigere Aspekte, wie z.B. Technologieoffenheit sowie infrastrukturelle und institutionelle Aspekte, nicht mit derselben Intensität verfolgt.

Die deutsche Bundesregierung hat sich wiederholt für eine proaktive Politik zur Entwicklung der Elektromobilität ausgesprochen. Der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung vom August 2009 setzt das Ziel, „eine Million Elektrofahrzeuge bis 2020 auf Deutschlands Straßen" und „über fünf Millionen in 2030" (S. 46f) zu erreichen. Diese Ziele werden im Energiekonzept vom November 2010 nochmals bekräftigt bzw. konkretisiert: „sechs Millionen bis 2030." (S. 24). Die von der Bundesregierung ins Leben gerufene und mit der Entwicklung von Vorschlägen für geeignete Maßnahmen beauftragte „Nationale Plattform Elektromobilität" (NPE) kommt in ihrem Endbericht zu dem Schluss, dass Wege aufgezeigt werden [sollen], der Elektromobilität mit zunächst 1 Million Elektrofahrzeugen bis 2020 auch in Deutschland zum Durchbruch zu verhelfen. Im Vordergrund stehen die Ziele, Deutschland als „Leitanbieter" und „Leitmarkt" zu profilieren. Daher geht es bei der politischen Diskussion nicht mehr um das „Ob", sondern darum, „Wie" die gesetzten Ziele am besten politisch flankiert werden sollten.

Ziel dieser Kurzstellungnahme ist es, ausgewählte Aspekte des Themas Elektromobilität vertieft zu beleuchten und verkehrspolitische Handlungsempfehlungen zur Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland im internationalen Kontext

[1] Grundsätzlich müssten unter dem Begriff Elektromobilität – bzw. präziser „Elektroverkehr" – alle elektrisch angetriebenen Fahrzeuge zusammengefasst werden, wie zum Beispiel auch U-Bahnen, S-Bahnen, Elektrobusse, O-Busse oder Stadt- und Straßenbahnen. In der aktuellen Diskussion wird der Begriff jedoch zumeist auf (vollständig oder teilweise) batterieelektrisch betriebene Pkw begrenzt. Es werden also auch Pkw mit Hybrid- oder Plug-in-Hybrid-Antrieben einbezogen. Dieser Eingrenzung wird in diesem Beitrag weitestgehend gefolgt. Folglich werden Brennstoffzellenfahrzeuge und E-Bikes in diesem Beitrag nicht betrachtet

zu geben. Besonderer Wert wird dabei auf die Abstufung der zeitlichen Horizonte der Umsetzung gelegt (kurz-, mittel- und langfristig). Der nächste Abschnitt fasst den aktuellen Stand von Technik und Forschung zusammen, im Anschluss daran werden die übergeordneten Ziele und laufende Maßnahmen in Abgleich gebracht. Teil 4 enthält dann politische Handlungsempfehlungen.

2 Sachstand Systemgut Elektromobilität

Vom Fahrzeug über die Batterie bis hin zu Ladeinfrastruktur, Stromerzeugung und -verteilung sowie weiteren Diensten: Es handelt sich bei Elektromobilität um ein Systemgut, das sich aus mehreren komplementären, auch in sich wieder komplexen Gütern zusammensetzt.
Daher wird einführend ein Überblick über den Stand von Technik und Forschung in den relevanten Teilbereichen der Elektromobilität gegeben.

2.1 Antriebssysteme

Grundsätzlich kann ein motorisiertes Fahrzeug durch einen Verbrennungs-, einen Elektromotor oder eine Kombination beider Technologien (Hybridfahrzeuge) angetrieben werden. Batterieelektrische Fahrzeuge besitzen einen rein elektrischen Antriebsstrang. Die Bandbreite bei Hybridfahrzeugen reicht vom reinen Reichweitenverlängerer, der nur in Aktion tritt, wenn der Ladezustand der Batterie nicht mehr ausreicht, bis zum hoch integrierten, leistungsverzweigten Antrieb, dessen Steuerung in jedem Betriebspunkt die optimale Kombination der beiden Antriebe realisiert. Mild-Hybridfahrzeuge machen nur unterstützenden Gebrauch von elektrischen Antriebskomponenten (etwa für Start-Stopp, Regeneration von Bremsenergie, eventuell Lastpunktanhebung und kurzzeitiges Boosten), während Voll-Hybridfahrzeuge je nach Fahrsituation und Ladezustand der Batterie auch relevante Entfernungen rein elektrisch fahren können. Bei Plug-In-Hybridfahrzeugen kann die Batterie nicht nur durch den Verbrennungsmotor oder die Rückgewinnung von Bremsenergie, sondern auch direkt am Stromnetz geladen werden. Sie werden als serieller Hybrid – der Verbrennungsmotor treibt nur den Generator an und ist nicht mit dem Radantrieb verbunden – und als paralleler oder leistungsverzweigter Hybrid ausgeführt. Die Batteriegröße ermöglicht elektrisches Fahren über Entfernungen von 10 km oder mehr. Der regelmäßige Einsatz des Verbrennungsmotors zu Ladezwecken ist nicht mehr notwendig und erfolgt nur, wenn die Batterie nicht mehr ausreicht, sowie in Fahrsituationen, in denen der Betrieb des Verbrennungsmotors vorteilhafter ist (z. B. nach Kaltstart bei kaltem Wetter). Aufgrund der Verbindung von elektrischem Fahren und der Möglichkeit, hohe Reichweiten zu erzielen, wird insbesondere den Plug-In-Hybridfahrzeugen für die nächsten Jahre eine große Bedeutung zugesprochen. Sie sind genau wie Range Extender darauf ausgelegt, vorwiegend im Batteriebetrieb zu fahren. Daher sind diese Modelle auch für Fragen der Ladeinfrastruktur relevant. Brennstoffzellenfahrzeuge könnten batterieelektrische Fahrzeuge langfristig ergänzen, Offenheit gegenüber dieser Technologie ist also angebracht. Wann es allerdings zu einer Großserienreife kommt, ist derzeit noch nicht absehbar. Derzeit bieten nahezu alle großen Pkw-Hersteller Voll-Hybridfahrzeuge in mehreren Baureihen an. Reine Elektrofahrzeuge werden dagegen derzeit nur in geringer Stückzahl auf den Markt gebracht; sie haben noch den Charakter von Erprobungsfahrzeugen. Erste Fahrzeuge aus der Großserie von deutschen Herstellern werden für 2013 erwartet.

2.2 Batterie

Der Batterie kommt als teuerster Komponente im Elektrofahrzeug eine entscheidende Rolle zu. Die im Vergleich mit Otto- und Dieselkraftstoffen deutlich geringere Energiedichte und die damit verbundenen Herausforderungen bei Gewicht und Reichweite machen den Entwicklungsstand der Batterie zum derzeit größten Hindernis für eine flächendeckende Verbreitung von Elektromobilität. Während bei vor 2010 gebauten Fahrzeugen häufig Sekundärbatterien vom Nickel-Metallhydrid-Typ eingesetzt worden sind, werden bei neuen Fahrzeugen fast ausschließlich Lithium-Ionen-Systeme verwendet. Diese haben sowohl eine höhere physikalisch mögliche Energiedichte als auch höhere Kostensenkungspotenziale und sind zweifellos die bevorzugte Technologie für die Hybrid- und Elektrofahrzeuge der nächsten Jahre. Der Preis eines Lithium-Ionen Akkus hängt fast linear von dessen Kapazität ab und liegt derzeit bei ca. 450 EUR/kWh; bis 2020 wird von vielen Experten eine Halbierung erwartet. Der Markt für Lithium-Ionen Akkus in Fahrzeugen wird in den nächsten Jahren stark wachsen.
Die Zelle eines Lithium-Ionen Akkus besteht im Wesentlichen aus Kathode, Anode, Elektrolyt und Separator. Mehrere Zellen in Verbindung mit elektronischen Komponenten bilden ein Modul, mehrere Module bilden ein Pack. Der Markt für Batteriezellen ist recht fragmentiert: sowohl hinsichtlich Marktanteilen als auch hinsichtlich Patenten sind Hersteller aus Japan, China und Korea führend, im Bereich Zelle und Modul auch amerikanische Hersteller. Alle genannten Länder fördern die Branche durch staatliche Programme erheblich. So wurde in den USA 2008 im Rahmen des American Recovery and Reinvestment Act (ARRA) ein Förderprogramm für Forschung und Produktion von Elektrofahrzeugen im Umfang von 2,4 Mrd. USD aufgelegt, wovon 1,5 Mrd. USD an die Li-Ionen Industrie gingen. Zusätzlich wurden 25 Mrd. USD für vergünstigte Kredite bereitgestellt.
Die deutschen Hersteller sind mit staatlicher Förderung bemüht, im internationalen Wettbewerb in eine Rolle als Leitanbieter zu wachsen. 2007 wurde die Innovationsallianz LIB 2015 gegründet, bei der 60 Projektpartner aus Wissenschaft und Industrie die Forschung im Bereich Lithium-Ionen Akkus voranbringen wollen. Die Projekte werden im Umfang von 60 Mio. EUR vom BMBF gefördert, industrieseitig stehen weitere 360 Mio. EUR zur Verfügung.
Die Entwicklung von Batterien kann man in die Teilaufgaben Batteriechemie, Technik der einzelnen Zelle und Batteriesystem (mehrere hundert Zellen mit Überwachung, Temperaturführung, Schutzmechanismen, etc.) gliedern. Hinzu kommen zahlreiche Fragestellungen, welche die Fertigung, die Integration ins Fahrzeug, die funktionale Sicherheit unter allen erdenklichen Bedingungen, den Service und das Recycling betreffen. Batteriezellen werden fast ausschließlich von einschlägigen Zulieferern entwickelt und produziert, die teilweise mit Spezialfirmen und Forschungseinrichtungen kooperieren. Die Automobilhersteller (OEM) haben sich durchweg gegen eigene Zellenfertigungen entschieden. Sie bauen aber die Kompetenz zur Integration der Zellen in große Batteriesysteme systematisch auf. Dabei gehen sie in unterschiedlichem Ausmaß Kooperationen untereinander und mit Zulieferern ein. So bilden beispielsweise Toyota und Panasonic, Renault/Nissan und NEC sowie Daimler und Evonik (unter dem Namen Li-Tec) Joint Ventures mit Zulieferern.

Beim Rohstoff Lithium ist bis 2050 nicht mit einer Knappheit zu rechnen, wobei die Reserven auf wenige, teils politisch instabile Länder verteilt sind. Seltene Erden, d.h. Metalle, welche ebenfalls für bestimmte Energiespeicher und Komponenten elektrischer Antriebe (z.B. Elektromotoren) benötigt werden, sind in relativ leicht zugänglicher Art vor allem räumlich konzentriert vorhanden und ihr Abbau in einigen Regionen ist heute mit hohen Umweltbelastungen verbunden. Die VR China hat bislang sehr hohe Weltmarktanteile, jedoch sind rasche Aufholprozesse auch der westlichen Industrieländer (v.a. Australien, USA) zu erwarten.

2.3 Energiewirtschaft, Ladeinfrastruktur und Dienste

Neben Fahrzeug und Batterie sind auch Ladeinfrastruktur, Abrechnung sowie Fragen der Stromerzeugung und -verteilung relevant. Laden ist prinzipiell auf vier verschiedene Arten möglich: Konduktiv, induktiv, durch Austauschen der aktiven Medien (Kathode und Anode, Redox-Flow-Verfahren) oder den Austausch der gesamten Batterie. Zwar werden derzeit Pilotprojekte zu induktiven Verfahren verfolgt, z.B. bei lokalen Anwendungen wie Taxiständen, Busspuren sowie Flughäfen, jedoch liegt der Fokus derzeit auf konduktiven Ladeverfahren. Die Ladegeschwindigkeit hängt dabei von der verfügbaren Leistung ab. Diese reicht vom Haushaltsstrom mit 3,7 kW über Drei-Phasen-Wechselstrom an speziellen Ladestationen (max. 40 kW) bis hin zu DC-Laden mit Off-Board-Ladegerät (mehr als 100 kW möglich). In diesen Bereichen stehen verschiedene Systeme zur Auswahl. Eine umfassende Festlegung auf übergeordnete Standards ist bisher nicht erfolgt, wird aber national (DIN, VDE), auf europäischer Ebene und weltweit im Rahmen von ISO, IEEE usw. angestrebt, um die Verbreitung der Elektrofahrzeuge zu erleichtern. In einigen Ländern wurden bereits nationale Normen eingeführt, deren Übernahme nicht immer sinnvoll oder möglich ist und die daher länderspezifische technische Lösungen erfordern. Der frühe Entwicklungsstand lässt erwarten, dass die Industrie noch für geraume Zeit mit unterschiedlichen, offiziellen und de-facto Standards zurechtkommen muss. Perspektivisch versprechen induktive Ladeverfahren eine Vielzahl von Vorteilen, wie insbesondere die Möglichkeit, ein Fahrzeug während der Fahrt oder bei kurzen Haltezeiten mit Strom zu versorgen, sowie eine deutlich bessere Nutzerfreundlichkeit. Erste Pilotanwendungen für Schienenfahrzeuge zeigen die grundsätzliche technische Realisierbarkeit. Bis zur Marktreife für Straßenfahrzeuge besteht jedoch noch Entwicklungsbedarf. Erste induktive Ladeeinrichtungen dürften zunächst lokal begrenzt aufgebaut werden (beispielsweise an Taxiständen, an Buswendeschleifen oder für Flughafenvorfeldverkehre). Einer flächendeckenden Einführung im Straßennetz stehen aus heutiger Sicht die hohen Kosten für die notwendigen Installations- bzw. Straßenbauarbeiten sowie für die fahrzeugseitigen Vorkehrungen entgegen.

Die Anforderungen an eine Ladeinfrastruktur unterscheiden sich nicht nur durch das Ladeverfahren, sondern auch durch die Zugänglichkeit der Ladeeinrichtung (privat, halb-privat, öffentlich), die benötigte Leistung und weitere Dienste (insbesondere Smart-Grid Anwendungen). So benötigt öffentliche Ladeinfrastruktur neben öffentlich zugänglichen Ladestationen Einrichtungen für Identifikation, Zugang und Ab-

rechnung, während private Ladestationen diese Informationen nicht oder nur teilweise benötigen und damit auch kostengünstiger sind.
Unter heutigen Bedingungen sind Elektrofahrzeuge zunächst als zusätzliche Verbraucher anzusehen, die einen Mehrbedarf an elektrischem Strom verursachen. Allerdings ist dieser auf absehbare Zeit noch so gering, dass er mit dem heutigen Kraftwerkspark bereitgestellt werden kann. Dies gilt auch nach dem Ausstieg Deutschlands aus der Kernenergie. Bei ungesteuertem Laden kann es jedoch mittelfristig zu Engpässen in Spitzenlastzeiten kommen, so dass gesteuertes Laden (durch intelligente Lademanagementsysteme) notwendig erscheint, wenn nicht zusätzliche Spitzenlastkapazitäten aufgebaut werden sollen. Des Weiteren ist noch offen, ob und wie ein diskriminierungsfreier Zugang zur Ladeinfrastruktur ausgestaltet wird. Sollen langfristig die Klimaschutzziele und die resultierenden CO_2-Minderungsziele erreicht werden, bedarf es des Einsatzes von Strom aus erneuerbaren Energiequellen.

2.4 Durchdringung

Als Erstnutzer von Elektrofahrzeugen kommen aufgrund der hohen jährlichen Fahrleistung bei einem hohen Anteil von täglichen Fahrstrecken unter 50 – 70 km derzeit insbesondere Flottennutzer, gemeinschaftliche Autonutzer (z.B. Car-Sharing), regionale Pendler, in Ballungsräumen konzentrierte Nutzer (Pflegedienste, Kuriere, etc.) sowie auch Zweiräder (E-Bikes, Pedelecs) in Frage. Für Lkw hingegen ist ein Einsatz rein elektrischer Antriebe aufgrund des Reichweitenproblems auch langfristig problematisch, spielt aber im Rahmen der City-Logistik eine Rolle.
Entscheidende Parameter für die Verbreitung von Elektromobilität sind die Kosten der Fahrzeuge (getrieben vor allem durch die Batterie), der Öl- und Strompreis, monetäre staatliche Förderungen und eventuelle nichtmonetäre Anreize, Kosten und Lebensdauer der Batterien, Infrastrukturaufbau und nicht zuletzt das Image und die gesellschaftliche Akzeptanz von Elektrofahrzeugen.
Die Vermarktung der Elektromobilität setzt heute stark auf Umweltbewusstsein. Daraus folgt, dass Elektrofahrzeuge auch definitiv umweltverträglicher sein müssen als konventionell angetriebene Kraftfahrzeuge. Sonst wird ein zentrales Argument pro Elektroantrieb im Erleben der potenziellen Käufer und Nutzer untergraben.

2.5 Systemgutcharakter der Elektromobilität

Zwischen den komplementären Gütern, aus denen sich das Systemgut Elektromobilität zusammensetzt (Batterie, Fahrzeug, Ladeinfrastruktur, Messwesen, Stromerzeugung und -verteilung), gibt es Netzwerkeffekte. Je größer die Ausbreitung eines Systems kompatibler Fahrzeuge und Ladeinfrastrukturen ist, desto stärker sollten die spezifischen Kosten sinken. Allerdings sind zunächst – je nach Einführungsstrategie – bedeutende Anfangsinvestitionen erforderlich. In der aktuellen Diskussion wird davon ausgegangen, dass die frühen Nutzer Zugang zu privaten Lademöglichkeiten haben, so dass Fragen des öffentlichen Infrastrukturaufbaus zunächst kein großes Hemmnis darstellen. Allerdings scheinen die bisherigen Untersuchungen zu zeigen, dass bei einer breiten Markteinführung psychologische Barrieren bzgl. der Reichweitenprobleme eine Hürde für weitere potenzielle Nutzer darstellen. Daher ist davon auszugehen, dass eine gewisse Dichte öffentlich zugänglicher, kompatibler Ladeinfrastruktur von Bedeutung für den Markterfolg der Elektromobilität ist. Anzahl und Lage von öffentlichen Ladeinfrastrukturen sind über weitere Projekte noch vertieft zu erkunden. Sie sind abhängig von Raum- und Bebauungsgegebenheiten sowie vom Zugang zu privaten (Wohnungen, Arbeitsplätze u. a.) sowie zu semi-öffentlichen Ladepunkten (Tankstellen, Parkhäuser, Parkplätze von Einkaufszentern, Verbraucher- und Baumärkten, Discountern, großen Freizeiteinrichtungen). Außerdem bestehen potenzielle Interdependenzen zwischen Fahrzeug sowie Stromerzeugung und -verteilung (Smart-Grid Anwendungen) oder zwischen öffentlichem (Park-)raum und Ladeinfrastruktur.
Da die einzelnen Güter zumeist durch unterschiedliche Akteure bereitgestellt werden, ist die Koordination von Zielen, Strategien und Entscheidungen dieser Akteure eine zentrale Herausforderung für das Angebot des Systemgutes Elektromobilität. Aufgrund dieses im Vergleich zu anderen Gütern hohen Koordinationsbedarfes kommt es bei Bereitstellungsentscheidungen für Elektromobilität zu hohen Transaktionskosten. Diese können theoretisch sogar so hoch sein, dass es nicht zu einem effizienten Angebot kommt. Zentrale Fragen sind daher: Welche Organisationsmodelle und Verteilung der Verantwortung bieten sich an, damit es zu einer effizienten Bereitstellung des Systemgutes kommt? An welchen Stellen übernimmt die öffentliche Hand Bereitstellungsaufgaben? Sollten Entscheidungen zentral oder dezentral getroffen werden? Welche Begünstigungen und Anreize sollen in welchen Phasen der Marktdurchdringung gesetzt werden? Wie können Konflikte zwischen marktbezogener und staatlicher Steuerung gelöst werden?

3 Potenziale zur Erreichung der politischen Ziele

Im Folgenden werden einige Themenfelder genauer betrachtet, welche bei der Bewertung über die Förderwürdigkeit von Elektromobilität diskutiert werden. Dabei weisen die Bewertungskriterien unterschiedliche Dimensionen auf. Daraufhin wird kurz auf die politischen Zielsetzungen im Bereich Elektromobilität und die derzeit laufenden Maßnahmen eingegangen. Die im Folgenden diskutierten Potenziale orientieren sich an den im nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität genannten sechs „Potenzialen der Elektromobilität".

3.1 Energiesicherheit

In Deutschland steht der Straßenverkehr für ca. 23 % des Gesamtenergieverbrauchs (16 % Personenverkehr, 7 % Güterverkehr), wobei aktuell mehr als 95 % der Energie durch Verbrennung von Benzin oder Diesel erzeugt wird. Erd- und Flüssiggas spielen untergeordnete Rollen, Elektro- oder Brennstoffzellenantriebe sind bisher im Fahrzeugbestand praktisch nicht vorhanden. Aktuell machen politische Krisen in Nordafrika und Nahost Schlagzeilen und sind an den Rohölmärkten spürbar. Auch unabhängig davon ist eine Verringerung der Abhängigkeit von der endlichen Ressource Rohöl notwendig.
In anderen Ländern, wie insbesondere in den USA, ist die Verringerung der Abhängigkeit vom Öl ein wichtiges Ziel bei der Förderung von Elektromobilität. Dort werden jährlich ca. 260 Mrd. USD dafür aufgewendet, Erdöl zu importieren, welches zu ca. 70 % für die Pkw-Flotte benötigt wird.

3.2 Klimaschutz – globale Wirkungen

Im Rahmen der UN-Klimakonferenz 2010 wurde das 2 °C Ziel von 190 Ländern akzeptiert. Die Europäische Union hat sich für eine Reduktion ihres Treibhausgasausstoßes im Jahr 2050 um 80-95 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 ausge-

sprochen und auch die Bundesregierung bekennt sich in ihrem Energiekonzept vom 28. September 2010 auf nationaler Ebene zu diesem Ziel. Der Straßenverkehr steht für ca. 18 % der CO_2-Emissionen in Deutschland (ca. 5 % Güterverkehr, 13 % Personenverkehr) und bildet damit einen wesentlichen Bereich. Zum Erreichen des Ziels sind jedoch umfassendere und auch übergeordnete Anstrengungen notwendig.

Die CO_2-Emissionen des Straßenverkehrs sind – gleiche Transportleistungen und unveränderter Modal Mix unterstellt – abhängig von der Energieeffizienz der Wandlungskette von der Primärenergie bis zur Nutzenergie an den Rädern der Fahrzeuge sowie von Gehalt der Primärenergie an fossilem Kohlenstoff. Energieeffizienz sowie Primärenergieform sind bei E-Fahrzeugen (unter einer „Well to Wheel" Betrachtung) abhängig von der Art der Stromerzeugung. Durch den Einsatz erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung können die CO_2-Emissionen von E-Fahrzeugen bis auf Null gesenkt werden. Die Bilanz von Verbrennungsmotoren lässt sich mit Hilfe von Biokraftstoffen positiv beeinflussen. Diese erscheinen derzeit allerdings nicht als Alternative zur Elektromobilität, auch vor dem Hintergrund der Konkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Kraftstoffproduktion. Außerdem werden erhebliche Treibhausgaswirkungen durch die Änderung von Landnutzung auf großen (tropischen) Flächen befürchtet. Der flächendeckende Einsatz von Biokraftstoffen der zweiten Generation, welche aus Abfällen der Land- und Forstwirtschaft gewonnen werden, ist derzeit nicht absehbar. Insgesamt kann Elektromobilität somit einen signifikanten Beitrag zur Verringerung der CO_2-Emissionen des Verkehrs leisten, auch indem sie Entwicklungsdruck auf Technikentwicklungen der Verbrennungsmotoren bei Verschärfung der Standards der CO_2-Emissionen (g/km) ausübt. Wegen der mittelfristig höheren Kosten („Total Cost of Ownership") bestehen zudem ökonomische Anreize zur Weiterentwicklung der Verbrennungsmotoren. Dies kann im Ergebnis die Einhaltung weiter verschärfter CO_2-Emissionsstandards fördern. Schließlich sind die Unsicherheiten bzgl. der Energiebereitstellung zu berücksichtigen, die sich ähnlich darstellen wie bei der konventionellen Antriebstechnik.

3.3 Umweltschutz – lokale Wirkungen

Elektrisch angetriebene Fahrzeuge erzeugen am Ort des Betriebs (fast) keine stofflichen Emissionen. So können Freisetzungen von Feinstaub, Säurebildnern, Ozonvorläufersubstanzen, Stickoxid- und Kohlenmonoxid insbesondere in Innenstädten vermieden werden. Die Senkung der Lärmbelastung ist abhängig von den gefahrenen Geschwindigkeiten. So tritt das bei niedrigen Geschwindigkeiten dominierende Motorengeräusch von Verbrennungskraftmaschinen bei Elektromotoren völlig in den Hintergrund. Bei höheren Geschwindigkeiten dominieren dann Roll- und Windgeräusche, so dass die Vorteilhaftigkeit von Elektrofahrzeugen abnimmt. Somit haben E-Fahrzeuge vor allem in städtischen Bereichen das Potenzial, neben Luftschadstoffen auch die Lärmbelastung zu verringern. In Bezug auf die Verkehrssicherheit wird derzeit diskutiert, die Wahrnehmungsprobleme bei E-Fahrzeugen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich (bis 30 km/h) durch akustische Signale zu vermindern. Damit würde der akustische Vorteil allerdings teilweise kompensiert. Schließlich gehen mit dem motorisierten Individualverkehr eine Reihe weiterer negativer externer Effekte einher, die auch bei einem Umstieg auf E-Fahrzeuge unverändert fortbestehen, wie zum Beispiel Stau- und Unfallkosten oder Raumtrennungswirkungen sowie Flächenbeanspruchungen.

3.4 Ausbau des Technologie- und Industriestandortes

Industriepolitisch besitzt der Automobilsektor aufgrund der hohen Wertschöpfung für Deutschland eine hohe Bedeutung. Es bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Technologien und Prozessen von E-Fahrzeugen und solchen mit Verbrennungsmotoren. Das Know-how in vielen Bereichen von Entwicklung und Fertigung konventioneller Fahrzeuge kann weitgehend auf E-Fahrzeuge übertragen werden. Allerdings würden sich erhebliche Verschiebungen bei Motor, Antriebsstrang, Betriebsstrategie, Energiemanagement usw. ergeben. Auch die Anforderungen an die Zulieferindustrie würden sich verändern. Batterien bilden zentrale Komponenten, die heute nur zum Teil von deutschen Firmen abgedeckt werden. Bei Elektromotoren und vor allem der Leistungselektronik haben deutsche Zulieferer einen hohen Entwicklungsstand, der jedoch noch auf die Kfz-Technik übertragen werden muss.

Der Vorsprung der deutschen Industrie im Bereich konventioneller Antriebstechnologie ist durch Konkurrenten, z. B. in China, nicht ohne weiteres aufholbar. Elektromobilität birgt als „neue Massenanwendung" zweifelsohne ein gewisses Marktpotenzial konkurrierender Marktteilnehmer, das auch für die deutsche Industrie eine Chance darstellt. Jedoch wird der bestehende Wettbewerbsvorteil gleichzeitig einem Risiko ausgesetzt. Ein Teil der Kernkompetenzen der deutschen Automobilindustrie könnte, wenn sich das Konkurrenzfeld tatsächlich primär auf Elektroautomobiltechnologie verlagern würde, nicht mehr gefragt sein. Angesichts des in den meisten Hybridfahrzeugen weiterhin eingesetzten mechanischen Antriebsstrangs und der recht geringen Marktaussichten reiner E-Fahrzeuge wird wegen der führenden Rolle deutscher Unternehmen auf diesem Gebiet für den Industriestandort Deutschland kurzfristig allerdings keine Gefahr gesehen. Es scheint sich eher die Tendenz abzuzeichnen, dass die heimische Industrie auch auf dem Gebiet der Elektrotechnik im Kfz mittel- und kurzfristig Konkurrenzvorsprünge erarbeiten kann.

Neben den Aktivitäten im Rahmen der NPE existieren eine Reihe weiterer Fördermaßnahmen des Bundes (BMBF, BMU, BMVBS, BMWi), der Länder als auch Aktivitäten der Hochschulen und Großforschungseinrichtungen mit sehr unterschiedlichen Schwerpunkten. Beispielsweise zielen die vom BMVBS geschaffenen „Modellregionen Elektromobilität" darauf ab, möglichst viele Erfahrungen im Alltagsbetrieb innerhalb von Demonstrationsprojekten zu sammeln. Dafür stehen insgesamt 150 Mio. EUR zur Verfügung, die sich auf acht Regionen aufteilen. Aus heutiger Sicht ist fraglich, ob auf Basis dieser Erfahrungen belastbare Ergebnisse erzeugt werden können, da die einzelnen Anwendungen sehr begrenzte Stückzahlen erreichen. Es können allerdings erste System- und Alltagserfahrungen gesammelt werden. Auch BMWi und BMU bedienen sich im Rahmen des Projektes „E-Energy" des Mittels „Modellregionen" – hier allerdings mit dem Fokus auf Informations- und Kommunikationssysteme zur Netzintegration. Für dieses Projekt stehen insgesamt ca. 140 Mio. EUR zur Verfügung, wobei 60 Mio. EUR durch die beteiligten Ministerien und der Rest durch die Industriepartner bereitgestellt werden. Der Austausch zwischen diesen Projekten oder mit der NPE sollte stärker institutionalisiert werden.

3.5 Netzeffizienz

Aktuell wird eine Reihe von Möglichkeiten zur Netzeinbindung von E-Fahrzeugen

diskutiert, die zu einer höheren Netzeffizienz führen könnten. Diese Anwendungen können nach Art der Verbindung des Fahrzeugs zum Netz unterschieden werden. So stehen den Kunden verschiedene Tarife zur Wahl (Preismanagement), der Ladevorgang lässt sich intelligent steuern (monodirektionales Lastmanagement) und Last und Rückspeisung sind beeinflussbar (bidirektionales Speichermanagement). Bereits bei einer monodirektionalen Verbindung könnten die Batterien beispielsweise in Zeiten eines hohen Stromangebots (z.B. aus erneuerbaren Energien) oder geringer Nachfrage geladen werden. Auch die Bereitstellung von Regelleistung zum kurzfristigen Lastausgleich könnte so erfolgen. Bei einer bidirektionalen Verbindung könnte zusätzlich Strom aus Auto-Batterien wieder abgegeben werden, beispielsweise in Lastspitzen oder zur Bereitstellung positiver Regelenergie. Allerdings ist noch offen, wie sich solche Konzepte mit dem Bedürfnissen der Fahrzeugnutzer im täglichen Detail vereinbaren lassen.

Für Anwendungen wie die Bereitstellung von Regelenergie oder die Stromeinspeisung zu Spitzenlastzeiten erscheint es kurz- und mittelfristig (bis 2030) jedoch unwahrscheinlich, dass sie einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Netzeffizienz leisten können. Konventionelle oder mit erneuerbaren Energien (z.B. Biomasse) gespeiste stationäre Speicherquellen für Regelenergie auf absehbare Zeit günstiger und flexibler als eine dezentrale Bereitstellung.

3.6 Neue Mobilitätskonzepte

Vielfach wird in der Einführung des Elektroantriebs die Chance gesehen, eine veränderte, lärmärmere und besser mit urbanen Lebensqualitäten vereinbare Autonutzung zu organisieren. Vor allem soll die Zahl der Fahrzeuge durch einen Wandel vom individuellen Fahrzeugbesitz zur situationsgerechten Fahrzeugnutzung reduziert werden. Es bleibt jedoch unklar, warum diese Verhaltensänderungen ursächlich mit dem Einsatz von Elektroantrieben verknüpft sein sollen. Sie sind auch auf andere Weise darstellbar. Entsprechende Angebote finden – ausgehend von einer kleinen Basis – zunehmend auch bei konventionellen Fahrzeugen Zuspruch. CarSharing-Unternehmen verzeichnen zweistellige Wachstumsraten und neue Formen der Autonutzung wie car2go in Ulm und Hamburg oder Autolib in Paris finden Akzeptanz. Derartige alternative individuelle Mobilitätsangebote, steigende Kosten der privaten Autonutzung und neue Werthaltungen gegenüber dem Auto verstärken veränderte Einstellungen zum Autobesitz und können ein multimodales Verkehrsverhalten mit weniger Energieverbrauch und CO_2-Ausstoß fördern. Im Erleben vieler Nutzer verstärkt sich der ökologische Mehrwert alternativer Mobilitätsformen und alternativer Antriebe allerdings bedingt wechselseitig.

E-Fahrzeuge eignen sich aus betriebswirtschaftlichen Gründen eher für derartige neue individualisierte öffentliche Verkehrsangebote als für den privaten Besitz, um die zentralen verkehrs- und umweltpolitischen Ziele wie weniger Staus, Energieverbrauch und Emissionen insgesamt zu erreichen.

4 Handlungsempfehlungen

Die nachstehenden Handlungsempfehlungen beziehen sich auf Rahmenbedingungen der Förderung und Umsetzung der Elektromobilität. Dabei steht das Ziel einer integrierten und damit langfristig tragfähigen Vorgehensweise im Vordergrund. Besonders wichtig erscheint eine vorrangige Orientierung an den angestrebten Wirkungen und weniger an der eingesetzten Technik. Außerdem sollen die langfristigen Ziele und geeignete, systemhafte Pilotanwendungen („Schaufensterprojekte") besondere Beachtung finden.

4.1 Kurzfristige Ziele nicht auf Kosten längerfristiger Ziele übergewichten

Die Bundesregierung hat die Potenziale der Elektromobilität erkannt und die Grundlage für einen breiten Stakeholderprozess gelegt. Die in diesem Rahmen diskutierten Maßnahmen fokussieren derzeit stark auf kurzfristige Ziele, wie insbesondere die Erreichung von 1 Mio. E-Fahrzeugen bis 2020. Dabei besteht die Gefahr, dass politisches Kapital sowie finanzielle Mittel für die Erreichung dieses Teils aufgewendet werden und dies auf Kosten der längerfristigen Entwicklung der Elektromobilität geht. Zur vollständigen Ausschöpfung der Potenziale auch in Deutschland ist jedoch ein längerfristiger Ansatz notwendig, welcher die Elektromobilität als ein Element zukunftsfähiger Verkehrskonzepte begreift. Maßnahmen sollten daher die kurz-, mittel sowie langfristige Perspektive ausgewogen berücksichtigen, um fehlerhafte und fehlleitende Mittelallokationen zu vermeiden. Dazu ist auch eine Stabilität und Verlässlichkeit politischer Ziele unerlässlich.

4.2 Wirkungsorientierung statt Technikorientierung – Offenheit bezüglich anderer Antriebsarten beibehalten

Elektromobilität soll gleichermaßen den Rahmenbedingungen einer Verknappung und Verteuerung fossiler Energieträger und dem Klimaschutz durch Reduktion der CO_2-Emissionen genügen, steht aber auch unter industrie- und wirtschaftspolitischen Zielen der Entwicklung der deutschen Verkehrswirtschaft zu einem Leitanbieter und als dessen Grundlage zu einem Leitmarkt des Elektroverkehrs. Die Erreichung der Ziele des Klimaschutzes, des Umweltschutzes und der Energieerzeugung – insbesondere auch unter verschärften Bedingungen („Standards", „Grenzwerte") und bei steigenden Energiekosten – steht im Vordergrund. Dabei muss es Hauptaugenmerk des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung sein, die angestrebten Wirkungen zu erzielen und die verfolgten Ziele zu erreichen – durch fahrzeugtechnische Entwicklungen, durch verkehrsplanerische Maßnahmen, durch ordnungsrechtliche Handlungsansätze oder durch informatorische Maßnahmen. Technischen Fortschritt gibt es nicht nur im Bereich von elektrischen Antrieben, sondern auch bei anderen Antriebskonzepten. Ein Beispiel mit ähnlichem Entwicklungsstand wie die batterieelektrische Antriebstechnik ist der Wasserstoffantrieb. Der Fortschritt betrifft sowohl den Schadstoffausstoß als auch die primärenergietische Basis und den Wirkungsgrad. Konventionelle Antriebe werden mittelfristig für viele Nutzergruppen erste Wahl bleiben müssen, zumal speziell für den Langstreckenverkehr auf Straßen keine hinreichend entwickelten Alternativen bereit stehen. Auch langfristig wird für den auf der Langstrecke eingesetzten Lkw, Bus und Pkw ebenso wie für Flugzeug- und Schiffsantriebe keine wirtschaftliche Alternative zum Verbrennungsmotor gesehen. Außerdem geben steigende Energiekosten Impulse zur Effizienzsteigerung der Fahrzeuge. Die Wirkungsorientierung – z.B. reduzierte CO_2-Emissionen der Gesamtkette, verstärkte Nutzung regenerativer Energien, reduzierter Kraftstoffverbrauch, lokale Emissionen, reduzierter Lärm – muss Maßstab sein, ohne technologische Vorfestlegungen zu treffen („Technikoffenheit"). Ein solcher Ansatz könnte sich an der Belastung durch alle fossilen Kostenstoffmengen orientieren, die in den jewei-

ligen Prozess der technischen Nutzung zur Mobilitätserzeugung eingebracht werden. Dann müsste sich die Elektromobilität im Wettbewerb mit alternativen Technologien unter Heranziehung einer einheitlichen Messgröße bewähren.

4.3 Etablierung weniger, großer „Schaufensterprojekte"

Die derzeitigen „Modellvorhaben Elektromobilität" können zum Teil erste Erfahrungen zu Einsatz, Nutzung und Rahmenbedingungen erbringen. Um die Entwicklung der Elektromobilität als Systemelement städtischer und regionaler Verkehrssysteme auf die Basis gesicherter Erkenntnisse zu stellen, erscheint es jedoch sinnvoll, die auslaufenden Vorhaben zu evaluieren und sich zukünftig auf möglicherweise weniger, aber dafür größere – in ideen- und umsetzungswettbewerblichen Verfahren ausgewählte – Praxistests („Schaufensterprojekte") zu konzentrieren, um so innerhalb der Schaufenster zu einer höheren Zahl an Nutzern und entsprechenden Angeboten an Fahrzeugen, Infrastruktur und Diensten zu kommen. Unter anderem ist es auch möglich, durch intelligente Weiterentwicklung der Modellregionen ausreichend kontrollierbare und in den Fallzahlen ausreichend besetzte Untersuchungsfälle zu gewährleisten. So können belastbare Aussagen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge des Einsatzes, der Nutzung sowie der Verkehrs- und Umweltwirkungen im Zusammenhang von Gesamtverkehrssystemen mit geringen Einschränkungen bei der Verallgemeinerbarkeit gewonnen werden. Sollen diese Praxistests mit umfangreichen öffentlichen Haushaltsmitteln gefördert werden, sind Wettbewerbsverfahren für Ideen und Umsetzung angemessen. Kriterien für die Auswahl von Schaufensterprojekten sollten sich unter anderem beziehen auf den Einsatz von Elektroantrieben für verschiedene Verkehrsmittel (Pkw, Busse, Fahrräder, Lieferfahrzeuge und schienengebundener ÖPNV), den Einsatz von Elektroverkehr im Personen- und Güterverkehr, im Individual- und Kollektivverkehr, den Aufbau und den Test unterschiedlicher Elektroversorgungsstrukturen und Ladepunkte/Ladesäulen sowie die unterschiedliche Ausgestaltung von monetären und nicht-monetären Anreizen.
Zu gleichen Ergebnissen kommt auch die NPE mit der Empfehlung, „Leuchtturm-Projekte" zu etablieren, in denen technologische Entwicklungsvorhaben gebündelt werden. Die NPE sieht sich als Steuerungs- und Beratungsgremium für derartige Vorhaben. Die Eignung der NPE für diese Aufgaben erscheint vor dem Hintergrund der stark divergierenden Zielvorstellungen innerhalb der Plattform und der lokal/regional zu koordinierenden Aktivitäten fraglich. Andere institutionelle Lösungen zur Koordination der zukünftigen Projekte, zum Beispiel durch die Fachministerien und unabhängige Beiräte, sollten überprüft werden. Zum Erfahrungsaustausch zwischen den Schaufensterprojekten sind die bei den Modellregionen bewährten thematischen Plattformen fortzuführen bzw. einzurichten.

4.4 Zügige internationale Standardisierung

Wie oben dargelegt, existieren beim Systemgut Elektromobilität sogenannte Netzwerkeffekte, die zu stärkeren Vorteilen eines Systems bei zunehmender Ausbreitung führen. Es ist davon auszugehen, dass bei einem flächendeckenden Zugang zu kompatiblen Lademöglichkeiten die Verbreitung der Elektromobilität beschleunigt werden kann. Um Kompatibilität zu gewährleisten, kommt einer Standardisierung eine hohe Bedeutung zu. Dabei spielen die Schnittstellen eine wichtige Rolle, aber auch für Zugang und Abrechnung müssen einheitliche Lösungen gefunden werden. Im Rahmen der laufenden Modellvorhaben kommt es zum Aufbau einer Vielzahl unterschiedlicher Systeme. Beispielsweise existieren unterschiedliche Identifikationsmöglichkeiten (z.B. Power Line Communication, RFID, Kreditkarte, Mobiltelefon) oder unterschiedliche Steckverbindungen. Aber auch die institutionellen Lösungen zur Gestaltung der Abrechnung sind vielfältig. So favorisiert man in der Modellregion Hamburg ein diskriminierungsfreies Durchleitungsmodell, während andere Regionen beispielsweise Roaming-Modelle bevorzugen. Somit erscheint es aktuell fraglich, ob sich ohne staatliche Lenkung entsprechende Standards rechtzeitig durchsetzen. Wichtig ist eine Evaluierung dieser zu Forschungszwecken angewandten Modelle.

Die Bundesregierung sollte Anstrengungen unternehmen, schnell zu einheitlichen technischen Standards zu gelangen. Diese dürfen nicht auf Deutschland beschränkt bleiben. Im Idealfall kommt es zur Festlegung weltweiter Standards. Eine europaweite Vereinheitlichung ist in jedem Fall anzustreben und erscheint auch möglich. Selbstverständlich sollte die Festlegung unter der Zielvorgabe möglichst nutzerfreundlicher Technologien bzw. institutioneller Lösungen erfolgen und mögliche zukünftige Entwicklungen berücksichtigen.

4.5 Zurückhaltung bei monetären Anreizen

Zur Forcierung der Elektromobilität werden gleichermaßen Forderungen nach Industrie- und Nutzer- bzw. Kundenförderung formuliert. Unter industrie- und wirtschaftspolitischen Gründen ist Industrieförderung dann zu unterstützen, wenn sie sich auf Maßnahmen der Forschung und Entwicklung beschränkt und keine Förderung zur Markterschließung vorsieht.
Für die Mehrzahl potenzieller Nutzer haben E-Fahrzeuge bei Betrachtung der Lebenszykluskosten deutliche Nachteile gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen. Je nach Modellannahmen und Fahrzeugkategorie haben diese eine Größenordnung von ca. 4.000 EUR bis 10.000 EUR. Mittelfristig kann mit einem Rückgang dieser Differenz gerechnet werden, da Skaleneffekte bei der Produktion zu geringeren Kosten führen werden und gleichzeitig von einem weiteren Anstieg der Mineralölpreise auszugehen ist. Aktuell wird eine Vielzahl potenzieller monetärer Anreize diskutiert, die diese Kostennachteile ausgleichen können und somit zu einem schnelleren Markthochlauf führen. Beispiele hierfür sind die bereits im Regierungsprogramm Elektromobilität beschlossenen Maßnahmen wie die Verlängerung der Kfz-Steuerbefreiung, der Nachteilsausgleich bei der Dienstwagenbesteuerung sowie die Beschaffungsinitiative der Bundesregierung. Des Weiteren wären eine Kaufprämie (als Einmal- oder Ratenzahlung), zinsgünstige Kredite oder

bessere Abschreibungsmöglichkeiten für Gewerbekunden denkbare Maßnahmen.

Diese Instrumente sind grundsätzlich geeignet, den Verkauf von E-Fahrzeugen kurzfristig zu fördern. Dabei kann man davon ausgehen, dass sofortige Einmalzahlungen bei Privatpersonen effektiver wirken als Ratenzahlungen über einen längeren Zeitraum, da Kunden zukünftige Einsparungen häufig nicht systematisch in ihre Entscheidungen einbeziehen. Über die oben genannten monetären Anreize hinaus können weitere, indirekte monetäre Anreize diskutiert werden, wie z.B. eine Erhöhung der Mineralölsteuer (ceteris paribus reduziert die Förderung der Elektromobilität das Mineralölsteueraufkommen).

Auch wenn diese Instrumente grundsätzlich geeignet sein könnten, sprechen derzeit die Gegebenheiten in Deutschland dagegen. Als Mittel zur Förderung der deutschen Automobilindustrie erscheinen direkte monetäre Anreize zumindest aktuell ungeeignet, um das Ziel „Leitanbieter" zu fördern. Unabhängig davon sind monetäre Anreize aus grundsätzlichen Überlegungen heraus abzulehnen. Denn das Angebot an deutschen E-Fahrzeugen ist derzeit zu gering, um von einer Prämie signifikant zu profitieren. Der indirekte positive Effekt, den eine solche Prämie durch die Beschleunigung der Diffusion auch für deutsche Hersteller hätte, kann kostengünstiger durch andere Instrumente erzielt werden. Auch der Hinweis auf andere Länder, die monetäre Anreize etabliert haben (wie z.B. USA oder Frankreich), begründet nicht, warum Deutschland diesem Beispiel folgen sollte.

Fraglich ist, ob Elektromobilität ohne monetäre Anreize als breite Anwendung etabliert werden kann und sich so die klima- und umweltpolitischen Potenziale nutzen lassen. Denn es gibt Nutzergruppen, die auch ohne zusätzliche Kaufanreize den Einstieg in die Elektromobilität wählen werden wie z.B. Flottennutzer (Leihfahrzeuge, CarSharing, Dienstwagen) und „Early Adopters". Aktuelle Modellrechnungen gehen für diesen Fall bis 2020 von ca. 500.000 verkauften E-Fahrzeugen in Deutschland aus. Somit wird es auch ohne monetäre Anreize in Deutschland zu einer erkennbaren Markteinführung von Elektromobilität kommen. Zur Erreichung der mittelfristigen Ziele (6 Mio. in 2030) dürften monetäre Anreize für dieses Marktvolumen zu teuer sein, um Kostennachteile auszugleichen. Hier werden eher geeignete Rahmenbedingungen, die zu Investitionssicherheit der beteiligten Akteure sowie die Förderung von Forschung und Entwicklung, von Relevanz sein. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass eine finanzielle Unterstützung zu Beginn des Prozesses gewisse Signalwirkungen hätte, jedoch das damit verbundene finanzielle Risiko aus heutiger Sicht zu hoch erscheint.

4.6 Abwägung bei nicht-monetären Anreizen

Neben monetären können auch nicht-monetäre Anreize diskutiert werden. Hierzu gehören insbesondere ordnungspolitische Maßnahmen, die E-Fahrzeuge gegenüber konventionellen Antrieben privilegieren oder konventionelle Antriebe bestrafen. Beispiele hierfür sind eine Verschärfung der zulässigen Abgasnormen in Umweltzonen, die Freigabe von Sonderfahrstreifen für E-Fahrzeuge oder auch Parkstände, die nur von E-Fahrzeugen genutzt werden dürfen (evtl. in Zusammenhang mit Ladeinfrastruktur). Auch solche Anreize erscheinen als geeignet, die Marktdurchdringung von Elektromobilität zu beschleunigen. In Abhängigkeit der individuellen Nutzerpräferenzen könnten sie einen Teil der monetären Nachteile von E-Fahrzeugen ausgleichen.

Ziel von Umweltzonen ist die Verringerung lokaler Emissionen. Somit kann ein uneingeschränkter Zugang von E-Fahrzeugen zu Umweltzonen bei gleichzeitiger Verschärfung der Regeln für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor sinnvoll sein.

Einige der straßenverkehrsrechtlichen Maßnahmen zielen auf die Verringerung negativer externer Effekte des MIV ab, die auch mit E-Fahrzeugen einhergehen. So sollen beispielsweise Busfahrstreifen die Alternativen zum MIV attraktiver machen. Eine Freigabe für E-Fahrzeuge ist vor diesem Hintergrund genau hinsichtlich negativer Auswirkungen auf den ÖPNV zu prüfen. Für besondere Parkmöglichkeiten gelten ähnliche Überlegungen. Auch vor dem Hintergrund der hohen institutionellen Kosten, die mit diesen Maßnahmen langfristig einhergehen, erscheinen diese zwar zur Schaffung kurzfristiger Kaufimpulse geeignet, sind jedoch grundsätzlich hinsichtlich kontraproduktiver Effekte einer möglichen Privilegierung abzuwägen.

4.7 Bedarf und Organisationsmodelle für Ladeinfrastruktur prüfen

Besonderes Augenmerk verdient derzeit die Planung des Ausbaus der Ladeinfrastruktur. Zwar liegen hierzu Bedarfsberechnungen aus der NPE vor, jedoch sind diese kaum durch entsprechende Finanzierungs- und Bereitstellungskonzepte unterlegt. Es zeichnet sich ab, dass sich im privaten und semi-privaten Bereich ein Angebot entwickelt, welches für die frühe Nutzung der Elektromobilität weitgehend ausreichen dürfte (Tankstellen, Parkhäuser, Bürogebäude, etc.). Ergänzend wird in einem gewissen Maß öffentliche Ladeinfrastruktur benötigt, deren Finanzierung und Bereitstellung derzeit unklar ist. Der notwendige Umfang sollte im Rahmen der Schaufensterprojekte quantitativ analysiert werden. Angesichts der gespannten Haushaltslage der Kommunen benötigen diese finanzielle Unterstützung, sofern ihnen die Bereitstellungsverantwortung auferlegt werden würde.

4.8 Langfristige Stärkung der Forschung an mobiler Energiewandlung und -speicherung in Deutschland

Eine Begründung für eine längerfristige Förderung von Forschung & Entwicklung zur Elektromobilität mag sich auch aus der Erwartung ergeben, auf diese Weise die Grundlagen für neue technische Lösungen auf anderen Gebieten zu legen. Beispiele könnten sein: Akkumulatoren für portable und stationäre Anwendungen, elektrische Maschinen mit hohem Wirkungsgrad oder eine sehr robuste Leistungselektronik. Ein weiterer erwünschter Effekt ist der Anreiz, neue Potenziale in der Antriebs- und Fahrzeugtechnik zur Verbrauchs- und Emissionsminderung zu erschließen. Die „Messlatte" der Elektromobilität führt zur genauen Analyse alternativer Möglichkeiten wie z.B. der „tiefen Integration" von elektrischen und konventionellen Antriebskomponenten (wie ansatzweise in Form von Hybridantrieben bereits geschehen) oder der Verbesserung konventioneller Systeme in allen relevanten Dimensionen. Im weiteren Sinn können auch Bemühungen um Leichtbau oder die Reduzierung aller Fahrwiderstände als Nebeneffekte der Entwicklung von E-Fahrzeugen verstanden werden.

In Folge des verstärkten Interesses an elektrischen Energiewandlern und -speichern generell und an Traktionsbatterien speziell ist die Bedeutung der elektrochemischen Forschung in Deutschland stark gewachsen. Der bestehende Rückstand in der Umsetzung in Produkte ist kurzfristig nicht aufholbar, zumal die anwendungsnahe Forschung in Ländern wie China, Japan, Korea und den USA staatlich stark unterstützt

und intensiv vorangetrieben wird. Daher kommen für Deutschland nur langfristige Maßnahmen in Frage. Ein Ziel sollte es sein, zunächst verstärkt Know-how aufzubauen, die Forschungstätigkeit auf universitärer und außeruniversitärer Ebene zu stärken und so Grundlagenwissen aufzubauen. Erst im zweiten Schritt könnten daraus wieder Wertschöpfungstätigkeiten in der Batterieproduktion entstehen. Diese Anstrengungen sollten durch eine Verstetigung gezielter Förderung von industrieller Forschung flankiert werden, wie dies bereits bei der Initiative LIB 2015 der Fall ist.

Eine Einengung auf ausschließlich „elektrochemische Forschung" – wie häufig gefordert – erscheint unangemessen. Denn mobile Energiewandlung und -speicherung können auf viele Weisen erfolgen (z.B. elektrostatisch, elektrodynamisch, magnetisch, kinetisch, hydraulisch).

4.9 Elektrofahrzeuge auch in anderen Einsatzbereichen fördern

In der aktuellen Diskussion wird der Begriff Elektromobilität zumeist auf Pkw eingegrenzt. Es existiert jedoch eine Reihe anderer Anwendungsbereiche, für die sich Elektrofahrzeuge grundsätzlich eignen. Vielerorts erprobt werden bereits batterieelektrisch betriebene Zweiräder, wie zum Beispiel in der Modellregion Stuttgart, wo ca. 500 „E-Bikes" im Einsatz sind. Auch Call-a-Bike Angebote umfassen zum Teil Pedelecs und E-Bikes. Darüber hinaus gibt es jedoch auch außerhalb des Individual- und Personenverkehrs Bereiche, in denen das Potenzial batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge zum Tragen kommen könnte. In diesem Zusammenhang ist insbesondere auf den Güterverkehr in städtischen Gebieten zu verweisen, der für einen erheblichen Teil der dortigen lokalen Emissionen steht. City Logistik-Konzepte sollten demnach den Einsatz von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen berücksichtigen. In Zusammenhang mit induktivem Laden erscheinen perspektivisch auch weitere Einsatzgebiete im öffentlichen Verkehr grundsätzlich geeignet (z.B. Batterie-Busse, Batterie-Taxen). Insgesamt können im öffentlichen Verkehr, d.h. auch im schienengebundenen Verkehr, der Einsatz elektrischer Antriebe erweitert und der vorhandene Einsatz effizienter gestaltet werden (z.B. Rückspeisung der Bremsenergie. Diese Beispiele zeigen, dass das Politikfeld Elektromobilität auf seine ganze intermodale Breite erweitert werden sollte.

4.10 Elektromobilität in neue Mobilitätskonzepte integrieren

Verkehr bedeutet Ortsveränderungen von Personen, Gütern und Nachrichten. Mobilität kennzeichnet die Bewegungsmöglichkeiten („Möglichkeitsraum"). Beide stehen daher im Kontext der Teilnahmebedürfnisse der Menschen und der Austauscherfordernisse für Güter. Sie werden durch Mobilitäts- und Transportangebote gesichert. Es ist also erforderlich, auch den Elektroverkehr in den Systemzusammenhang von Infrastruktur, Fahrzeugen, ordnungs- und straßenverkehrsrechtlichen Regelungen, informatorischen Maßnahmen einzuordnen und zu entwickeln. Erfordernisse, Chancen, fördernde und hemmende Faktoren für Elektroverkehr werden aus dem Systemzusammenhang beurteilbar, der auch die Beurteilung der Wirkungen und der Eignung von Handlungskonzepten bzw. Maßnahmen ermöglicht.

Allein durch den verstärkten Einsatz von Elektrofahrzeugen wird kein Beitrag zur wesentlichen Verbesserung des Verkehrsgeschehens und zur Förderung neuer Mobilitätskonzepte geleistet. Da die Kostennachteile von Elektrofahrzeugen mit steigender Fahrleistung abnehmen, erscheinen sie aber am ehesten für CarSharing-Angebote oder auch Taxen geeignet. Feste Standplätze und Ausleihstationen können effektiv mit Ladestationen ausgerüstet werden. Alternative Mobilitätsformen und alternative Antriebe werden von vielen Nutzern gemeinsam gewünscht. In Summe würden Angebote geschaffen, die künftig als Beitrag zur Reduktion der individuellen Motorisierung in Städten wirksam werden können.

4.11 Institutionellen Wettbewerb zulassen, politischen Handlungsspielraum behalten

Trotz der Notwendigkeit staatlicher Rahmenbedingungen ist bei der Einführung der Elektromobilität zu berücksichtigen, dass „der" richtige Ansatz zur Förderung der Elektromobilität nicht existiert. Vielmehr handelt es sich um oftmals dezentrale Entscheidungen sowohl auf der Anbieter- als auch auf der Nachfragerseite. Ein gewisser institutioneller Wettbewerb bei Politikmaßnahmen sowie Überschneidungen sind daher unvermeidlich. Für die Sicherung einer hohen Wirksamkeit und Aussagefähigkeit ist es aber empfehlenswert, die Versuchs- und Förderprogramme vermehrt zwischen Bund und Ländern abzustimmen. Auch sollte der „Wettbewerb der Systeme" nicht durch finanzielle und organisatorisch überfrachtete Fördermaßnahmen verzerrt werden. Es ist abzusehen, dass innerhalb der NPE der inhaltliche Fortschritt zunehmend durch divergierende Interessen der beteiligten Akteure bedroht wird. So verfolgt die Automobilindustrie das Ziel einer möglichst hohen „Kaufprämie" und sieht die Einbeziehung nicht-monetärer Maßnahmen eher zurückhaltend. Die Energieversorger wiederum sind an einer staatlichen Finanzierung des Aufbaus von Ladeinfrastruktur interessiert, wollen aber gleichzeitig möglichst keine rechtlichen und technischen Rahmenvorgaben seitens der öffentlichen Hand. Insgesamt ist bei der mittelfristigen Strategieentwicklung somit darauf zu achten, dass die starke Vertretung von Partikularinteressen, insbesondere der Automobilindustrie und der Energieversorger, den politischen Handlungsspielraum nicht übermäßig einschränkt. Das BMVBS sollte dabei einen besonders langfristigen Horizont haben, welcher die Elektromobilität im Kontext der Transformation des gesamten Verkehrssystems und seiner Energieversorgung im Auge hat.

Zertifizierung zum **Sicherheitsauditor** von Straßen
http://www.adh-sas.de
Bauhaus-Universität Weimar: **Außerortsstraßen und Ortsdurchfahrten**
Bergische Universität Wuppertal: **Hauptverkehrsstraßen, Erschließungsstraßen und OD**