

# Elektromobilität – ein multifunktionaler Baustein für umweltschonende Mobilität

In Deutschland (elektro-)mobil zu sein, bedeutet mehr, als neue Fahrzeugkonzepte zu entwickeln: Sie müssen darüber hinaus in bestehende und neue Verkehrs- und Energieinfrastrukturen integriert werden. Dies erfordert einen ausgeprägten Systemansatz und gezielte Forschung.

VON ULRICH WAGNER

## Energie- und Emissionsentwicklung bis 2050

Mit dem Energiekonzept der Bundesregierung vom September 2010 und dem Gesetzespaket zur Energiewende von 2011 liegt ein langfristiger politischer Fahrplan für den Klimaschutz und den Umbau der Energieversorgung in Deutschland vor (BMU 2010). Dieser Umbau dient der langfristigen Zuverlässigkeit der Energieversorgung und dem Klimaschutz. Zugleich verspricht er auch volkswirtschaftliche Vorteile, da weniger fossile Energieträger importiert werden müssen, deren Preise permanent steigen. Wie lässt sich dieser Fahrplan realisieren? Durch eine flächendeckende Steigerung der Energieeffizienz und einen erheblichen Ausbau der erneuerbaren Energien.

Der Endenergieverbrauch im Verkehr soll bis 2020 um 10 % und bis 2050 um 40 % reduziert werden. In Langfristszenarien des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) konnte gezeigt werden, dass der erforderliche Beitrag des Verkehrs zum übergeordneten Reduktionsziel eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um mindestens 70 % gegenüber heute bedeutet (s. Nitsch et al. 2012 im Literaturverzeichnis auf S. 11). Die heutige Mobilität basiert fast vollständig auf importierten fossilen Kraftstoffen, für nachhaltig erzeugte biogene Kraftstoffe besteht nur ein vergleichsweise geringes Potential. Langfristig umweltschonende Mobilität kann daher nur über einen fundamentalen Strukturwandel mit entsprechend neuen Antriebstechnologien und einer veränderten Versorgungsinfrastruktur

erreicht werden. Dies gilt auch für die europäische Ebene: Im Europäischen Weißbuch Verkehr (Europäische Kommission 2011) wird unter anderem als Ziel formuliert, die Zahl konventioneller Pkws in Städten bis 2030 zu halbieren und diese Fahrzeuge bis 2050 vollständig zu ersetzen.

Die Elektromobilität – längst schon Standard im Schienenverkehr – wird zunehmend auch im Straßenverkehr und vor allem für den Individualverkehr eine Schlüsselrolle spielen: Hier kann erneuerbarer Strom auf sehr effiziente Weise fossile Kraftstoffe substituieren. „Elektromobilität“ steht dabei nicht nur für neue Antriebstechniken mit Elektromotoren, Batterien und Brennstoffzellen, sondern ist als Gesamtmobilitätskonzept anzusetzen. Insbesondere zählen hierzu die energiewirtschaftliche und die verkehrstechnische Integration, z. B. die Versorgung mit erneuerbarem Strom sowie die Bereitstellung entsprechender Infrastruktur und Dienste (Batteriemanagement, Parkraummanagement, Reise- und Fahrerassistenz etc.).

Neben diesen technischen und strukturellen Möglichkeiten ist auch zu erwarten, dass sich das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung ändert und alternative Fortbewegungsmöglichkeiten entstehen. Alle diese Parameter müssen in das derzeit erarbeitete, langfristige Kraftstoff- und Mobilitätskonzept der Bundesregierung eingehen.





die einen Führerschein besitzen. Dadurch erhöht sich der Anteil der Pkw-Fahrer/innen am gesamten Transportaufkommen.

Was die Gruppe der jungen Erwachsenen angeht, zeichnet sich ein Trend zu einer längeren Ausbildungsphase ab, einer auch dadurch bedingten späteren Familiengründung und somit einer veränderten Verkehrsmittelnutzung: Der Pkw-Besitz ist nämlich in erster Linie an den Familienstand und weniger bedeutend an Alter und Einkommensklasse gekoppelt. Grundsätzlich lässt sich schlussfolgern, dass das Auto weiterhin das wichtigste Verkehrsmittel bleibt, allerdings nimmt der Gebrauch ab, und der öffentliche Verkehr sowie die Fahrradnutzung nehmen leicht zu.

Die oben formulierten Verkehrsziele lassen sich bei steigendem Mobilitätsbedarf und weiterhin steigender Nutzung des (eigenen) Pkws nur mit umweltfreundlichen Technologien wie z. B. dem Elektroauto als Bestandteil eines Gesamtmobilitätskonzeptes realisieren.

**Abb. 1:** DLR-Spant-Space-Frame-Bauweise (links) und Konzeptidee des Adaptierbaren Vorderwagens (rechts).



### Das Elektroauto und seine Komponenten

Die elektrische Antriebstechnik in Straßenfahrzeugen hat mit den heute permanent erregten Synchronmaschinen einen hohen Stand der Technik erreicht, was Fahrdynamik, Lebensdauer und Wirkungs-

grad angeht. Dagegen besteht noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf bei Batterien und Brennstoffzellen. Stand der Technik sind Lithium-Ionen-Batterien mit Energiedichten bis 60 Wh/kg. Bei üblicher Auslegung der Batterien reicht dies für etwas mehr als 100 km Aktionsradius aus. Brennstoffzellen erreichen heute bei hochdynamischem Fahrbetrieb Wirkungsgrade von kaum mehr als 30 %, mittelfristige Zielgrößen liegen mindestens 10 %-Punkte höher. Der Aktionsradius wird dort durch die Größe des Wasserstofftanks (Druck- oder Flüssigspeicher) bestimmt, in beiden Fällen besteht u. a. Bedarf zur Kostensenkung und internationalen Standardisierung.

Die Entwicklung von Assistenzsystemen und -funktionen ist für Elektrofahrzeuge besonders bedeutsam und stellt nicht nur ein „Add-on“ dar, weil sie die Logistik der Elektromobilität generell vereinfachen und den Reisekomfort erhöhen können. Dazu zählen z. B. intelligente Navigationssysteme, die sowohl die aktuelle Verkehrssituation, die topologischen und verkehrlichen Charakteristika einer Route und die Nutzerpräferenzen, aber

### Verkehrsnachfrage und Mobilität

Mobilitätstrends sind eng mit gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen verbunden. Bereits heute steigt die Mobilität weltweit drastisch an, ein weiterer Anstieg ist zu erwarten. Allein in Europa ist, bezogen auf 1990, nahezu mit einer Verdopplung des Passagierverkehrs bis 2030 und des Gütertransports bereits bis 2020 zu rechnen. Dabei spielen auch die regional unterschiedlichen demografischen Strukturen eine wichtige Rolle. So zeigen Untersuchungen für Deutschland, dass sich künftig insbesondere die Nachfrage der älteren Generation nach geeigneten Verkehrsmitteln bemerkbar machen wird. Die Herausforderung dabei ist es, die gesellschaftliche Teilhabe dieser Personengruppe und die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer/innen zu gewährleisten. Weitere Trends sind ferner die „Überalterung“ insbesondere im ländlichen Raum und die steigende Quote älterer Frauen,

**DER AUTOR**

*Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner wurde 1995 auf den Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München berufen. Seit 2010 ist er Vorstandsmitglied für Energie und Verkehr am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln und in dieser Funktion mitverantwortlich für das Großprojekt DESERTEC in Nordafrika. Er forscht v. a. zu den technisch-wirtschaftlichen Grundlagen der Energieversorgung, besonders der elektrischen Energieversorgung durch Batterien und Solartechnik und ist Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften sowie ihrer Kommission BADW Forum Technologie.*

**Abb. 2:** Das DLR erforscht mit dem Robomobil Radnabennmotoren als viel versprechende Lösung für den Antrieb zukünftiger Elektrofahrzeuge.

natürlich auch „points-of-interest“ – in diesem Falle Ladestationen – und den Ladezustand des Fahrzeugs einbeziehen. Außerdem kann durch die Automatisierung von Teilaspekten, z. B. automatisiertem Parken und Laden, der Ladevorgang vereinfacht werden.

Der Fahrzeugleichtbau spielt für Elektrofahrzeuge eine entscheidende Rolle, da hier großes Potential zur Energieeinsparung vorhanden ist. Durch so genanntes Multi-Material-Design (MMD), bei dem materialspezifische Eigenschaften optimal genutzt werden, können die Fahrzeugmasse verringert und der Energieverbrauch reduziert werden. Beispiele hierfür sind die „Spant-Space-Frame“-Bauweise oder die „Adaptierbare Vorderwagenstruktur“ (Abb. 1).

Neben der Massereduktion ist die Sicherheit ein wichtiger Aspekt bei der Umsetzung neuer Konzepte. Um die Fahrzeuginsassen, aber auch die sensiblen elektrischen Komponenten zu schützen, werden technologische Ansätze wie z. B. das „Hybride Träger“- oder „B-Säulen-Spant“-Konzept verfolgt und Bauteile, Bauteilverbände und Baugruppen in dynamischen Belastungsfällen geprüft.

Die Reichweite elektrischer Fahrzeuge hängt auch vom Verbrauch komfortsteigernder Komponenten wie beispielsweise der Klimaanlage ab. Die benötigte elektrische Heiz- und Kühlleistung kann gesenkt werden, indem man funktionsintegrierte Sandwichwerkstoffe mit Isolationswirkung einsetzt. Multifunktionale Sandwichbauteile besitzen darüber hinaus strukturell relevante Eigenschaften, so dass ein doppelter Nutzen (Reichweiterhöhung direkt und indirekt) entstehen kann.

Ein interessantes Beispiel für ein neues Purpose Design-Elektromobilitätskonzept ist das ROboMObil (der Name leitet sich ab aus der planetaren Rovertechnik und der Robotik). Es basiert auf dem so genannten Radroboter-Konzept: Antrieb, Lenkung, Dämpfung und Bremse sind in jedes der vier Räder integriert. Eine intelligente Zentralsteuerung (Chassis-Control) steuert über ein inverses Dynamikmodell die insgesamt zehn Aktuatoren (je vier Antriebe mit Rekupe-rationsbremse und radindividuellen Lenkungen inklusive zwei elektromechanischen Sicherheitsfeststellbremsen) so an, dass die gewünschte Bewegung des Fahrzeugs unter allen Umgebungsbedingungen garantiert wird. Das Elektromobil

mit einer Reichweite von ca. 100 km verfügt zudem über ein äußerst flexibles Modul-Konzept. So lassen sich schnell – z. B. durch Austausch des Chassis-Moduls – unterschiedlichste Fahrzeuge konzipieren. Der konsequente Einsatz leichter Carbonfaserverstärkter Kunststoffstrukturen (CFK) verschafft dem ROboMObil energetische Vorteile im Vergleich zu konventionellen Stahlkarosserien.

Da jedes Rad einzeln gesteuert wird, kann das ROboMObil im „Krabbengang“ schräg bis seitwärts fahren sowie auf der Stelle drehen (Abb. 2). Dadurch weist es eine maximale Mobilität und Manövrierbarkeit im Großstadtbereich auf. Als Einsatzbereiche des Autos sind wegen der großen Autonomie und Beweglichkeit z. B. Mega-Cities



mit flexiblen Carsharing-Autos, Logistik-Bereiche in großen Hallen oder Sicherheits- und Überwachungsaufgaben besonders viel versprechend.

### Verkehrstechnische Integration

Zur energiewirtschaftlichen Integration der Elektromobilität gibt es bereits eine Vielzahl von Untersuchungen und Szenarien. Noch nicht systematisch analysiert wurde dagegen deren verkehrstechnische Integration, ausgehend von langfristigen Prognosen des Verkehrsbedarfs. Hier ist ein Betrachtungszeitraum bis mindestens 2050 erforderlich, weil die Konzeption, Entwicklung und Nutzung neuer Verkehrsträger mit Zeitkonstanten mehrerer Jahrzehnte einhergeht. Die systemische Einbindung von Elektromobilität in bestehende Verkehrsinfrastrukturen erfordert intermodale Verkehrskonzepte, die die individu-



### Fazit

Die Bedeutung des motorisierten Individualverkehrs sowie die Zunahme des öffentlichen Personennahverkehrs zeigen, dass die Verknüpfung der Verkehrsträger zu einer Intermodalen Mobilität immer wichtiger wird. Die politischen Vorgaben zur Emissionsminderung sind zudem nur zu erreichen, wenn die Elektromobilität schnell eingeführt wird. Hierfür bedarf es verstärkter Forschung zur Verbesserung der Technik und Fahrzeugkomponenten, der Entwicklung spezialisierter Assistenz zur Steigerung der Nutzerakzeptanz

sowie deutliche Weiterentwicklungen zur Integration in das Energie- und Verkehrssystem. Das Thema Elektromobilität erfordert eine systemische Betrachtung, da hier die Energie- und Verkehrssysteme räumlich und zeitlich besonders eng gekoppelt sind. Eine interdisziplinäre Zusammensetzung von Forscherteams ist wichtig, um das komplexe Thema aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu beleuchten und Lösungen aus einem Guss zu entwickeln. ■

elle Entscheidung des Einzelnen unterstützen, z. B. durch attraktive Angebote für eine intelligente Reiseassistenz. Die monomodale, also auf ein Transportmittel beschränkte Fortbewegung, wird dadurch aufgebrochen; statt dessen nutzt der Verkehrsteilnehmer auf seiner Fahrt die jeweils passenden Möglichkeiten, die in einer elektromobilitätsspezifischen Lösung zusammengeführt werden.

Neue Geschäftsmodelle wie Carsharing und Bikesharing erobern momentan deutsche und europäische Städte. Die Zuwachsraten beim Carsharing lagen in den letzten Jahren in Deutschland bei rund 20 % pro Jahr, neue Flex-Angebote wie Car2Go oder BMW Drive Now nicht inbegriffen. Die Nachfrage nach diesen Mobilitätsangeboten ist enorm und zeigt Alternativen zum Pkw-Besitz sowie von Pkw-Wegen in Stadt und Stadtumland auf. In naher Zukunft werden Carsharing-Fahrzeuge, die heute zumeist mit klassischen Verbrennungsmotoren betrieben werden, durch lokal emissionsfreie Elektrofahrzeuge ersetzt und durch IKT-Lösungen zu einem integrierten Bestandteil des öffentlichen Verkehrs werden. Es gibt hierzu bereits viele nationale und europäische Einzelprojekte. Sie werden ergänzt durch ein 2010 gestartetes Modellvorhaben des DLR, das solche IKT-Lösungen real erprobt: die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM). Die Stadt Braunschweig stellt dabei eine Plattform für anwendungsorientierte Wissenschaft, Forschung und Entwicklung im Bereich Intelligenter Mobilitätsdienste dar. Das reale Verkehrsumfeld der Stadt kann mittels Sensoren analysieren. Großräumige und mikroskopische Aspekte von Verkehr und Mobilität lassen sich simulieren, Kommunikationskomponenten zur Beeinflussung des Verkehrsablaufs an Teststrecken erproben (Abb. 3).



**Abb. 3: Links: Reiseassistenz durch moderne Informations- und Kommunikationstechnologien.**

**Rechts: Nutzung der Stadt Braunschweig als Anwendungsplattform für Intelligente Mobilität (AIM).**

### Literatur

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011, Broschüre 2010

J. Nitsch, T. Pregger et al., Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, Schlussbericht 2012

Europäische Kommission, Weißbuch. Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem, Brüssel 2011

B. Lenz, C. Nobis et al., Mobilität in Deutschland 2008. DLR-Forschungsbericht, Projektbericht 2010

Institut für Mobilitätsforschung (ifmo), Mobilität junger Menschen im Wandel – multimodaler und weiblicher, München 2011

S. Trommer, B. Lenz, WohnMobilE. Beitrag auf der Konferenz: VISION – Elektromobile Stadt der Zukunft, Berlin 2011