

Elektromobilität – Die Sicht der Nutzer

G. Sammer, D. Meth, Ch. J. Gruber

Die Rahmenbedingungen für Autos mit Verbrennungsmotor auf Basis fossiler Treibstoffe sind heute einem starken Veränderungsprozess unterworfen: Die Treibhausgasemissionen sind in Zukunft auch im Verkehrssektor zu reduzieren, und die Energiepreise fossiler Treibstoffe werden aufgrund der weltweit wachsenden Nachfrage in den Entwicklungsländern und des Verknappungsrisikos deutlich steigen. Damit wächst die Bedeutung alternativer Antriebskonzepte. Die technologische Entwicklung elektrischer Antriebe für Autos hat in den letzten Jahren deutliche Fortschritte gemacht, so dass die elektrische Mobilität eine neue Chance bekommt. Die Entwicklung der Elektroautos in der Vergangenheit zeigt auf, dass einerseits die technologische Entwicklung noch nicht reif war, die Anforderungsprofile aus der Sicht der potentiellen Nutzer zu erfüllen, andererseits hat man sich um diese nicht ausreichend gekümmert. Dies lässt sich an den heutigen Bestandswerten an elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen ablesen, die unter einem Zehntel der Einprozentmarke liegen. Die Analyse des Mobilitätsverhaltens mit herkömmlichen Autos mit Verbrennungsmotor zeigt, dass die maximalen Tagesfahrweiten für etwa drei Viertel der Autos über 200 km aufweisen. Deshalb muss eine entsprechende Speicherkapazität der verwendeten Batterien vorhanden sein. Für eine Marktakzeptanz in der Größenordnung einer kritischen Masse sind einige Voraussetzungen notwendig. Dies benötigt einen Forschungs- und Entwicklungsprozess, der ein ganzheitliches Konzept entwickelt und testet, basierend auf der Kenntnis des Anforderungsprofils potentieller Nutzer an die elektrische Mobilität. Dazu zählen die Antriebs- und Batterietechnologie, ein auf den elektrischen Antrieb abgestimmtes funktionales Fahrzeugkonzept, die nötige Infrastruktur sowie neue verkehrsorganisatorische und verkehrspolitische Rahmenbedingungen und geeignete Anreizmaßnahmen.

Schlüsselwörter: Verkehrsverhalten; Anforderungsprofil; elektrische Mobilität

Electric mobility – the users' point of view.

Currently the basic conditions for cars with combustion engines running on fossil fuel are changing considerably: In future, greenhouse gas emissions will have to be reduced in the transport sector, too, and due to the globally growing demand for energy in emerging markets and the risk of shortages prices of fossil fuel are bound to rise considerably. In consequence, the importance of alternative drive technologies is growing. The technological development of electric drives has progressed considerably in recent years thus offering electric mobility a new chance. Past development of battery-electric vehicles showed that on the one hand the technology was not yet sufficiently mature to meet the requests of potential users and on the other hand, insufficient attention was paid to such requests. The existing base of battery-electric vehicles which is less than one tenth of one percent of all vehicles reflects this neglect. An analysis of the mobility behaviour of ordinary cars with combustion engines shows that for about three thirds of all cars the maximum daily travel distance is above 200 km. This means that batteries must offer appropriate storage capacities for such distances. Several requirements need to be met to achieve a market acceptance which is sufficiently big to be considered a critical mass. To achieve this, the research and development process must develop and test an integrated concept based on the demand profile which potential users have in regard to electric mobility. This includes the drive and battery technology, an electric drive-oriented, functional vehicle concept, the necessary infrastructure as well as a new transport organisation and transport policy framework and suitable incentive measures.

Keywords: travel behaviour; demand; profile; electric mobility

Eingegangen am 1. September 2008, angenommen am 12. September 2008
© Springer-Verlag 2008

1. Einleitung und Ausgangslage

Die Klimaproblematik durch Treibhausgase sowie die im vergangenen Jahr stark angestiegenen Preise fossiler Energie zeigen die Dringlichkeit auf, verstärkt nach Alternativen zu herkömmlichen Kraftfahrzeugen und insbesondere Personenkraftwagen (Pkw) mit Verbrennungsmotor zu suchen. Derzeit zeichnen sich folgende Varianten ab:

- ▶ Nutzung von Einsparungspotentialen mit herkömmlicher fossiler Antriebstechnologie (Stichwort „3-Liter-Auto“); dies bedingt eine radikale Reduktion des Fahrzeuggewichts, des Luftwiderstandes und der Motorleistung, was derzeit von der Mehrheit der Autofahrer, also aus der Sicht der Nutzer, abgelehnt wird. Im Gegenteil, heute erfreuen sich SUV (Sport Utility Vehicles) mit hohem Gewicht und Verbrauch noch immer einer hohen Nachfrage.
- ▶ Nutzung von biogenen Treibstoffen mit herkömmlicher Antriebstechnologie; diese Variante ist durch die heute verfügbaren Produktionstechnologien und Produktionskapazitäten nur begrenzt

einsatzfähig und aus Gründen der Sicherstellung der Welternährung kritisch zu hinterfragen.

- ▶ Entwicklung neuer Antriebssysteme, wie Brennstoffzelle und Wasserstoffantrieb; ein marktreifes und konkurrenzfähiges Angebot im nennenswerten Umfang ist noch nicht absehbar, wobei die Fragen der Wasserstoffproduktion, des Transportes und der Lagerung wesentliche Schwachstellen der Entwicklung darstellen. Der Blickwinkel der potentiellen Nutzer wurde noch nicht ernsthaft untersucht und ist primär von der Kostenfrage dieser Technologie abhängig.

Sammer, Gerd, O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn., Meth, Dagmar, Dipl.-Ing., Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur, Institut für Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien, Österreich; **Gruber, Christian Joachim, Dipl.-Ing.,** Sammer & Partner Ziviltechnikergesellschaft mbH, für Verkehrsplanung, Leonhardstraße 12, 8010 Graz, Österreich (E-Mail: gerd.sammer@boku.ac.at)

- ▶ Nutzung elektrischer Energie für den Pkw-Antrieb; das Elektroauto ist im Prinzip keine neue Technologie, da es in der über hundertjährigen Entwicklungsgeschichte des Autos immer wieder Versuche und auch einzelne interessante Modelle gab. Einen wirklichen Durchbruch hat es bis heute noch nicht gegeben. Auf der technischen Seite sind als Hauptprobleme die Frage der ausreichenden Speicherkapazität und Sicherheit der Batterien sowie die fehlende Infrastruktur zu nennen, die bis heute eine im Vergleich mit dem herkömmlichen Verbrennungsmotor deutlich reduzierte Reichweite zulassen. Aus der Nutzersicht führt das zu subjektiv wahrgenommenen Nutzungseinschränkungen, die einen Markterfolg trotz mancher öffentlicher Subventionen aus Umweltgründen bis heute verhindert haben.

Generell ist festzustellen, dass bei der Entwicklung von neuen Technologien im Verkehrssektor, wie dem Elektroauto, zwei Fehler zu identifizieren sind:

- (1) Die technische Entwicklung erfolgt vielfach ohne ausreichende Kenntnis der Anforderungen der potentiellen Nutzer und ihres Verkehrsverhaltens.
- (2) Es werden kaum ganzheitliche Konzepte innovativer Autoantriebe entwickelt. Die technischen Lösungen stehen im Vordergrund, ohne die gesamten Rahmenbedingungen und mögliche Anreizmaßnahmen einzubeziehen. Hierzu zählen eine umweltorientierte Kfz-Besteuerung sowie Straßen- und Parkgebühren mit dem Ziel der Internalisierung der externen Kosten, Bevorrangung umweltfreundlicher Kraftfahrzeuge (wie z. B. durch eigene Fahrstreifen für Fahrgemeinschaften, privilegierte Befahrung von so genannten „Umweltzonen“ in Luftsanierungsgebieten von Ballungsräumen, etc.). Durch Berücksichtigung geänderter Rahmenbedingungen und Anreizmaßnahmen wird auch das Akzeptanzverhalten potentieller Nutzer von Elektroautos beeinflusst.

Eine erfolgreiche Entwicklung der elektrischen Mobilität muss auf einem abgesicherten Anforderungsprofil der potentiellen Nutzer unter Einbeziehung veränderter Rahmenbedingungen und Anreizmaßnahmen aufbauen. Es ist ein ganzheitliches Konzept notwendig, das neben den technischen Problemen der Fahrzeug- und Batterietechnologie sowie den versorgungsinfrastrukturellen Fragen der Antriebstechnologie auch die Benutzerbedürfnisse, die verkehrsorganisatorischen und verkehrspolitischen Rahmenbedingungen behandelt. Da sich der potentielle Nutzer aufgrund seiner subjektiven Wahrnehmung von neuen Produkten zu deren Kauf bzw. Nutzung entscheidet, kommt der Informationsarbeit eine zentrale Bedeutung zu. In Österreich gab es mit Bezug vom 31. 12. 2007 nur 625 Kraftfahrzeuge (Kfz) für die Personenbeförderung mit Elektroantrieb, davon 131 Personenkraftwagen (Pkw), das sind 0,01 % aller Kfz. Der Bestand an Hybridfahrzeugen mit Benzin und Elektroantrieb betrug 1264 Pkw oder 0,03 % aller Kfz. Das zeigt, dass das heutige Angebot an Elektrofahrzeugen am Markt praktisch keine mobilitätspolitische Bedeutung hat und in keiner Weise den Ansprüchen der potentiellen Nutzer entspricht. Erschwerend kommt hinzu, dass es in Österreich und auch in anderen europäischen Ländern keine wirksamen begleitenden Anreizmaßnahmen gibt. Jene heute in Österreich existierenden Anreizmaßnahmen, wie z. B. reduzierte Gebühren in Zonen der Parkraumbewirtschaftung in Graz oder die Befreiung von der Normverbrauchabgabe, die bei der Erstanmeldung von Kraftfahrzeugen wirksam wird, und die Befreiung von der laufend zu bezahlenden motorbezogenen Versicherungssteuer, reichen nicht aus, um die mangelnde Erfüllung der Nutzeransprüche zu kompensieren. Im Jahre 1977 wurde der österreichische potentielle Absatzmarkt für Elektroautos von der ÖIAG auf 10.000 bis 20.000 Elektroautos pro Jahr geschätzt, was damals von Verkehrs-

planern aufgrund der zum damaligen Zeitpunkt nicht den Anforderungen potentieller Nutzer entsprechenden Angebote bezweifelt wurde (Sammer, 1977). Die Bestandszahlen 2007 bestätigen, dass dies noch heute gilt.

2. Metaanalyse vorhandener Studien und Literatur

Die Analyse der vorhandenen Literatur über elektrische Mobilität zeigt eine große Breite, sie ist aber sehr stark auf technische Fragen der elektrischen Mobilität konzentriert. Die Themen der Anforderungen aus Sicht der Nutzer, deren Mobilitätsverhalten und ganzheitliche Mobilitätskonzepte mit elektrischer Mobilität werden sehr stiefmütterlich behandelt. Und wenn sie behandelt werden, dann baut diese Analyse in der Regel auf unzulänglichen Daten und Verfahren auf.

Elektrisch betriebene Personenkraftwagen als wesentlicher Teil der elektrischen Mobilität wurden in der Geschichte des Automobilbaus schon sehr früh entwickelt. Eine sehr interessante Konstruktion war z. B. der 1900 auf der Weltausstellung in Paris vorgestellte Lohner-Porsche mit Radnarbenmotor (Wikipedia, 2008). Aus der Sicht der Nutzer ist die Information von Interesse, dass nach der Jahrhundertwende 1900 der Anteil der Elektroautos an dem gesamten Autobe stand der USA 38 % betrug, in New York sogar 50 %. Das ist ein Zeichen einer hohen Nutzerakzeptanz zum damaligen Zeitpunkt. Im letzten Jahrzehnt des vergangenen Jahrhunderts gab es aufgrund der aufgetretenen Umwelt- und Klimaprobleme in verschiedenen Ländern (z. B. USA und Norwegen) Renaissanceversuche mit Elektroautos (Knie et al., 1999). Im Großen und Ganzen wurden herkömmliche kleine Autos von Verbrennungsmotoren auf Elektroantrieb umgestellt und in vielen Ländern mit finanziellen, aber unzureichenden Anreizmaßnahmen gefördert. Letztendlich waren diese Fahrzeugkonzepte ohne verkehrspolitisch ganzheitlichen Lösungsansatz aus mehreren Gründen zum Scheitern verurteilt. Der Bestand an Elektrofahrzeugen überschritt in keinem Land und in keiner Region die kritische Masse. Zentrale Probleme aus der Sicht der wenigen Nutzer waren die hohen Anschaffungskosten trotz der finanziellen Förderung, die mangelnde Reichweite aufgrund der zur Verfügung stehenden Batterietechnologie, das aufwendige Batteriemangement, die geringe Haltbarkeit und Leistungsfähigkeit der Batterien, die mangelnde Verarbeitungs- sowie die mangelnde Servicequalität und Servicedichte (Knie et al., 1999). Der Listenpreis der angebotenen Elektro-Pkw war in etwa doppelt so hoch wie die Zahlungsbereitschaft der potentiellen Nutzer. Die Ergebnisse der Befragungen der Teilnehmer dieser Feldversuche sind keineswegs als repräsentativ für alle Autolenker einzustufen. Diese Teilnehmer waren freiwillige Personen, die einen konkreten Grund zur Teilnahme hatten, wie z. B. ein hohes Umweltbewusstsein, oder ein umweltfreundliches Image erlangen wollten. Aus dieser Studie können jedoch grobe Rückschlüsse über die damaligen, aber auch für die in Zukunft zu erwartenden Problemfelder gezogen werden.

Einer der jüngst veröffentlichten Berichte (Kahlhammer et al., 2007) beschäftigt sich sehr ausführlich mit der Situation und der Zukunftsentwicklung von Null-Emissionskraftfahrzeugen und behandelt auch Elektrofahrzeuge (Full Performance Battery Electric Vehicles, City Electric Vehicles, Neighbourhood Electric Vehicles, Hybrid Electric Vehicles, Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Full Cell Electric Vehicles). Aber auch diese Studie beschäftigt sich nur am Rande mit der Sicht und den Anforderungen der Nutzer, vielmehr konzentriert sie sich auf die technologischen Fragestellungen der elektrischen Mobilität.

Zwei Studien aus dem Jahre 1994 beschäftigen sich mit der Nutzerakzeptanz von elektrischer Mobilität im Rahmen von ganzheitlichen verkehrspolitischen Szenarien. In einer dieser Studien wird die Bereitschaft der Anschaffung und Nutzung von Elektroautos bei einem innerstädtischen Einfahrtsverbot für Pkw mit Verbrennungsmotor analysiert (Sammer, Fallast, Wernsperger, 1994/2). Mit Hilfe von

vertieften, interaktiven Stated Preference-Befragungsmethoden¹ wird die Verhaltensreaktion auf ein Einfahrtsverbotsszenario in die Innenstadt von Graz für Pkw mit Verbrennungskraftmotoren abgeschätzt. In diesem Szenario wird von den Befragten das tägliche Verkehrsverhalten erhoben. Jene Autolenker, die die Zone mit dem Einfahrtsverbotsbereich am Stichtag befahren, werden mit dem Einfahrtsverbot konfrontiert und befragt, wie sie darauf reagieren. In einer ersten Befragungsrunde, bei der alle Haushaltshaltsmitglieder anwesend waren, konnten sie sich für eine der im Folgenden angeführten Reaktionen entscheiden. Sie konnten zum Beispiel auf ein anderes Verkehrsmittel, wie den öffentlichen Verkehr oder das Fahrrad, umsteigen, zu Fuß gehen oder sich ein Elektroauto anschaffen und benutzen. Die Erledigung konnte auch jemandem anderen übertragen oder auf eine andere Zeit verschoben werden. Für nicht aufschiebbar Aktivitäten musste eine Lösung, die am Stichtag realisierbar wäre, gefunden werden. In einer zweiten Runde wurden die Befragten speziell auf die Möglichkeit einer Anschaffung eines Elektroautos mit den entsprechenden Eigenschaften und Kosten hingewiesen. Das Ergebnis der Szenarien ist in Abb. 1 dokumentiert. Ohne spezielle Information über das Elektroauto steigen die Befragten für rund 2 % aller Personenwege auf ein Elektroauto um, das entspricht einer Verlagerung von über 3 % der Personenfahrten von herkömmlichen Autos auf Elektroautos. Mit gezielter Information über die Eigenschaften von Elektroautos ist der Verlagerungsanteil deutlich höher (Sammer, Gruber, Hössinger, 2008): Insgesamt wird in diesem Szenario für fast 9 % aller Personenwege ein Elektroauto benutzt und angeschafft, und 16 % der Personenfahrten mit dem Auto verlagern sich auf ein Elektroauto. Das Ergebnis spiegelt deutlich wider, dass Informationsaufbereitung, öffentlichkeitsarbeit und Marketing einen signifikanten Einfluss auf das Anschaffungspotential und die Nutzungshäufigkeit von Elektroautos haben. Die Abb. 2 zeigt die Vorgänge der Verkehrsverlagerung als Folge des Einfahrtsverbotes für Autos mit Verbrennungsmotor unter der vollen Information der Befragten über die Eigenschaften von Elektroautos. Dieses Ergebnis spiegelt die Komplexität der Verhaltensänderungen wider.

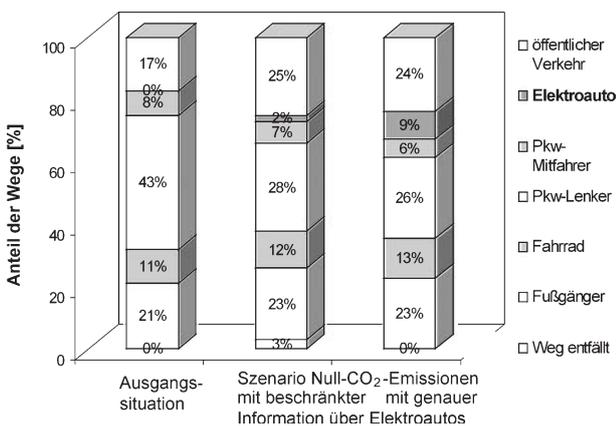


Abb. 1. Vergleich der Verkehrsmittelaufteilung (Modal Split) für das Ausgangsszenario und die beiden Szenarien des Einfahrtsverbots für Autos mit Verbrennungsmotoren in die Innenstadt von Graz, Bezugsjahr 2010 (Sammer, Fallast, Wernsperger, 1994/2)

Die zweite Studie (Sammer, Wernsperger, 1994/1) beschäftigt sich mit der Nutzung eines „Neuen Motorisierten Zwei(Drei)rades“ mit einem Elektroantrieb in einer Variante. Dieses heute nicht existierende Fahrzeug hat die folgenden Eigenschaften: Fahrerlaubnis ab 16 Jahre, zwei oder drei Räder, automatische Abstützung im Stand bei einem Zweirad, voller Wetterschutz, Transportkapazität für eine oder zwei Personen inklusive Gepäck, Sicherheitskonzept auf hohem Niveau, so dass kein Helm getragen werden muss, flächendeckendes Service und Preisniveau etwa €5.000, bezogen auf 1994. In den untersuchten Szenarien wird das Neue Motorisierte Zwei(Drei)rad in eine speziell abgestimmte Infrastruktur und Verkehrsorganisation der Stadt Graz eingebettet: Einrichtung von speziellen Fahrstreifen für dieses Fahrzeug (wenn genug Platz im Straßenraum vorhanden ist), Öffnung von Busfahrstreifen und verkehrsberuhigten Straßen, spezielle Abstellplätze, Fahrzeugverleih, bevorrangte Park-and-Ride-Stellplätze sowie eine intensive Öffentlichkeits- und Informationsarbeit. Im Rahmen dieser Marktstudie wurden drei Szenarien untersucht, wobei das Szenario mit Einfahrtsverbot für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren und Angebot des elektrisch betriebenen Neuen Motorisierten Zwei(Drei)rades (Null-CO₂-Szenario) von Interesse ist. Mit derselben vertieften Befragungstechnik des Stated Preference-Verfahrens wurden die Verhaltensreaktionen abgeschätzt. In Abb. 3 ist die Veränderung der Verkehrsmittelaufteilung (Modal Split) durch das Szenario mit dem Einfahrtsverbot für Verbrennungst

¹ Die Stated Preference-Befragungsmethode wurde entwickelt, um hypothetische Märkte zu befragen, also die Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft heute noch nicht vorhandener Produkte abzuschätzen (Axhausen, Sammer, 2001).

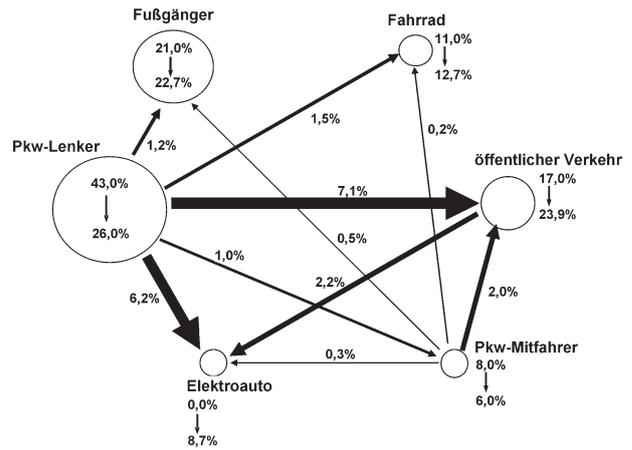


Abb. 2. Verkehrsverlagerung als Reaktion auf das Szenario Einfahrtsverbot in die Innenstadt von Graz für Pkw mit Verbrennungsmotor und voller Information über die Eigenschaft von Elektroautos, Bezugsjahr 2010 (Sammer, Fallast, Wernsperger, 1994/2)

tierende Fahrzeug hat die folgenden Eigenschaften: Fahrerlaubnis ab 16 Jahre, zwei oder drei Räder, automatische Abstützung im Stand bei einem Zweirad, voller Wetterschutz, Transportkapazität für eine oder zwei Personen inklusive Gepäck, Sicherheitskonzept auf hohem Niveau, so dass kein Helm getragen werden muss, flächendeckendes Service und Preisniveau etwa €5.000, bezogen auf 1994. In den untersuchten Szenarien wird das Neue Motorisierte Zwei(Drei)rad in eine speziell abgestimmte Infrastruktur und Verkehrsorganisation der Stadt Graz eingebettet: Einrichtung von speziellen Fahrstreifen für dieses Fahrzeug (wenn genug Platz im Straßenraum vorhanden ist), Öffnung von Busfahrstreifen und verkehrsberuhigten Straßen, spezielle Abstellplätze, Fahrzeugverleih, bevorrangte Park-and-Ride-Stellplätze sowie eine intensive Öffentlichkeits- und Informationsarbeit. Im Rahmen dieser Marktstudie wurden drei Szenarien untersucht, wobei das Szenario mit Einfahrtsverbot für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren und Angebot des elektrisch betriebenen Neuen Motorisierten Zwei(Drei)rades (Null-CO₂-Szenario) von Interesse ist. Mit derselben vertieften Befragungstechnik des Stated Preference-Verfahrens wurden die Verhaltensreaktionen abgeschätzt. In Abb. 3 ist die Veränderung der Verkehrsmittelaufteilung (Modal Split) durch das Szenario mit dem Einfahrtsverbot für Verbrennungst

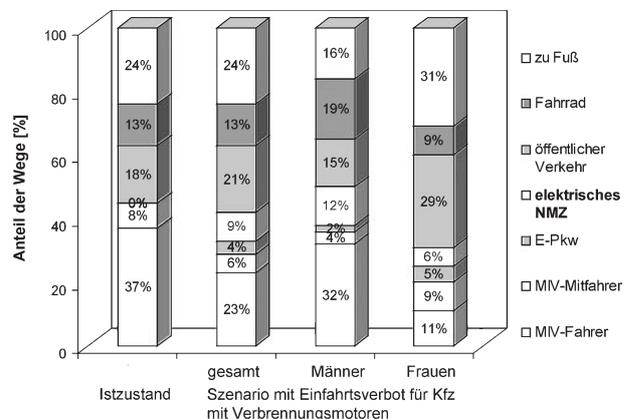


Abb. 3. Vergleich der Verkehrsmittelaufteilung (Modal Split) unterschieden nach dem Geschlecht für das Projekt eines Neuen Motorisierten Zwei(Drei)rades (NMZ) für das Szenario Einfahrtsverbot für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren in die Innenstadt von Graz, Bezugsjahr 1994 (Sammer, Wernsperger, 1994/1)

motoren dokumentiert. Es zeigt sich, dass die Fahrzeuge mit Elektromotoren unter diesen Bedingungen einen Weganteil von 9 % für das Neue Motorisierte Zwei(Drei)rad und 4 % für Elektro-Pkw erreichen können. Frauen bevorzugen das Elektroauto mit 5 % und Männer das Neue Motorisierte Zwei(Drei)rad mit 12 % Weganteil. Betrachtet man die einzelnen Wegzwecke, so zeigt sich, dass das Elektroauto bei den Zwecken des Freizeit- und Wirtschaftsverkehrs die größten Potentiale hat, während das elektrische Neue Motorisierte Zwei(Drei)rad im Berufs- und Ausbildungspendlerverkehr den größten Anteil erreicht. Das Alter der potentiellen Nutzer hat einen großen Einfluss auf das Benutzerpotential: Das elektrisch betriebene Neue Motorisierte Zwei(Drei)rad wird von den jüngeren Personen unter 25 Jahre bevorzugt, während das Elektroauto von den Personen über 25 Jahre als Wahlpotential akzeptiert wird. Interessant ist auch das Ergebnis des Kaufpotentials unter den Bedingungen des untersuchten Szenarios mit Einfahrtsverbot: 37 Personen je 1000 Einwohner würden ein Elektroauto anschaffen. Das sind 9 % des Pkw-Bestandes. Das Anschaffungspotential eines elektrisch betriebenen Neuen Motorisierten Zwei(Drei)rades beträgt 87 Personen je 1000 Einwohner.

Von Interesse ist auch eine Studie (Pischinger et al., 1998) über die Kostenwirksamkeit von Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen in Österreich, die in einem Szenario über Zero-Emission Vehicles für den öffentlichen Dienst und für zehn Tourismusorte in Österreich die Wirksamkeit von Elektroautos untersucht. Im Jahre 2009 sollte ein Bestand von über 50.000 Elektroautos erreicht sein. Damit würden rund 80.000 Tonnen an CO₂ pro Jahr, das sind etwa 0,37 % der verkehrsverursachten CO₂-Mengen, eingespart werden. Im Rahmen dieser Studie wurde auch ein zweites Szenario mit Elektroautos für den privaten Sektor behandelt.

Das Ergebnis der Literaturanalyse zeigt auf, dass die bisherigen Demonstrationsprojekte und Studien sich in der Regel auf die Bereitstellung von technischen Lösungsmöglichkeiten der elektrischen Mobilität konzentrieren. Ganzheitliche Überlegungen aus der Sicht der Nutzer, die neben den technischen Eigenschaften von elektrischen Personenkraftwagen einen ganzheitlichen Lösungsansatz unter geänderten Rahmenbedingungen des Infrastrukturangebotes und der Verkehrspolitik verfolgen, beschränken sich auf so genannte Null-Emissionsszenarien, bei denen die elektrische Mobilität eine Nebenrolle spielt. Das Problem von Feldversuchen mit elektrischer Mobilität liegt darin, dass es im Rahmen solcher Forschungsprojekte schwer möglich ist, eine kritische Masse der notwendigen Infrastruktur bereitzustellen. Es besteht also ein wichtiger Forschungsbedarf, der sich in einem ersten Schritt auf die Erforschung der subjektiven Nutzeranforderungen unter Einbeziehung der technischen, verkehrspolitischen und verkehrsorganisatorischen Anforderungen in Form von Feldstudien konzentriert, ehe Erfolg versprechende Demonstrationsprojekte realisiert werden können.

3. Anforderungsprofil der Nutzer

Das Anforderungsprofil aus Nutzersicht orientiert sich an den Möglichkeiten, die moderne Kraftfahrzeuge und Pkw mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren bieten. Für die Kaufentscheidung eines Autos spielt das tatsächlich benötigte Nutzungsprofil gegenüber dem perzipierten Wunschprofil einer potentiellen Nutzung nur eine untergeordnete Rolle, auch wenn in der Regel das Wunschprofil überhaupt nicht oder nur selten ausgenutzt wird. Das heißt, dass neben der Kenntnis des tatsächlichen Nutzungsprofils auch die Kluft zum Wunschprofil zu beachten ist. Das Nutzungsprofil bezieht sich vor allem auf die Eigenschaften Reichweite, Platzangebot und Fahrleistung (Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit). Neben dem tatsächlichen Nutzungs- und dem Wunschprofil einer potentiellen Nutzung gibt es eine Reihe anderer Eigenschaften, die von einem Elektroauto erwartet werden. Auch diese Eigenschaften basieren in

der Regel auf den subjektiven Erfahrungen, die Nutzer von herkömmlichen Autos haben. Hierzu zählen der Fahrkomfort und die Fahrzeughandhabung, die Anschaffungs- und Unterhaltskosten, der Wartungsaufwand inklusive Batteriemangement und -aufladung, die Serviceversorgungsichte, die Zuverlässigkeit im Betrieb, die passive Verkehrssicherheit, die Winterfestigkeit, die subjektive spontane Verfügbarkeit, Designaspekte und Verarbeitungsqualität etc. (Knie et al., 1999; Sammer, Wernsperger, 1994/1).

Im Folgenden wird beispielhaft eine Analyse der Pkw-Fahrtweiten auf Basis des tatsächlichen Nutzungsprofils von herkömmlichen Personenkraftwagen ausgeführt. Der Schwerpunkt dieser Analyse bezieht sich auf die Häufigkeit von Fahrtweiten der einzelnen Wege und von Tagesfahrtweiten sowie auf die aus der Standzeitenverteilung abgeleitete Tagesganglinie der benötigten Ladekapazitäten (erforderliche Batterieladeenergie). Hierbei ist zu beachten, dass die dafür benutzte Datengrundlage nicht für diesen Zweck erhoben wurde und die Ergebnisse dieser Analyse deshalb nur einen exemplarischen Charakter aufweisen können. Die speziell für diese Aufgabenstellung durchgeführte Analyse, Fahrtenmuster für die potentielle Benutzung von Elektroautos zu analysieren, beinhaltet folgende Auswertungen: Pkw-Fahrtweitenverteilungen aller im Erhebungszeitraum durchgeführten Pkw-Fahrten, Verteilung der im Erhebungszeitraum durchgeführten maximalen Pkw-Fahrtweiten und Verteilung der Pkw-Tagesfahrtweiten aller im Erhebungszeitraum durchgeführten Fahrten, Verteilung der im Erhebungszeitraum durchgeführten maximalen Pkw-Tagesfahrtweiten sowie die mittlere Tagesganglinie der Ladeenergienachfrage während der Standzeit der Pkw bei der Wohnung der Lenker.

3.1 Datengrundlage

Die verwendete Datengrundlage stammt von einer Schweizer Haushaltserhebung in der Stadt Frauenfeld und in dem als „Seerücken“ bezeichneten Gebiet zwischen Thur und dem Bodensee in der Umgebung von Winterthur (Löchl et al., 2005). Das Gebiet umfasst sowohl städtische als auch ländliche Haushalte, so dass eine gewisse Repräsentativität für europäische Verhältnisse angenommen werden kann. Der wesentliche Grund, warum dieser Datensatz ausgesucht wurde, liegt in der Länge der Erhebungsperiode von 42 Tagen bzw. sechs Wochen. In der Regel enthalten Haushaltserhebungen nur einen oder zwei werktägliche Erhebungsstichtage pro Person für Werkstage. Das bedeutet, dass für eine Person oder einen Pkw nur Informationen über diese Stichtage vorhanden sind. Zur Abbildung des Fahrverhaltens von Personen oder Pkw (Fahrtweiten und Fahrtenmuster mit den Stehzeiten) zur Erstellung eines Anforderungsprofil für Elektroautos ist es nicht ausreichend, Mittelwerte von Fahrtenverhaltensmustern zu erfassen, sondern es ist notwendig, die maximalen Fahrtweiten aller Wege und die Tagesfahrtweiten von potentiellen Nutzern zu identifizieren. Dies geht nur mit Erhebungen über mehrere Tage inklusive den Wochenenden. Am besten wären Ganzjahreserhebungen, die aber nicht zur Verfügung stehen. Mit den heute zur Verfügung stehenden Erhebungstechnologien wie kombinierte GPS(Global Positioning System)- und GSM/UMTS-Geräte (Global System for Mobile Communications, Universal Mobile Telecommunications System) sind Langzeiterhebungen von Verkehrsverhalten mit vertretbarem Aufwand möglich geworden.

Die verwendete Schweizer Erhebung umfasst Daten einer Nettostichprobe von 99 Haushalten mit 230 Personen und insgesamt 12.290 erhobenen Pkw-Fahrten. Die Antwortbereitschaft der Haushalte, an der Erhebung mitzumachen, betrug 39 %. Angesichts des recht beträchtlichen Aufwandes, für 42 Tage einen recht umfangreichen Mobilitätserhebungsbogen auszufüllen, ist das Ergebnis sehr zufriedenstellend. Auf eine Einschränkung der Aussagemöglichkeiten muss hingewiesen werden: In der Befragung wurde bei

Haushalten mit mehreren Autos nicht danach gefragt, mit welchem Auto die einzelnen Fahrten durchgeführt wurden. Deshalb ist eine Unterscheidung in Fahrtenmuster von Erst-, Zweit- oder Drittauto des Haushaltes nicht möglich. Diese Unterscheidung ist aber zweckmäßig, um Unterschiede der Fahrtenmuster dieser Autogruppen zu identifizieren. Es ist nämlich zu vermuten, dass Zweit- und Drittautos in der Regel bezüglich der Fahrtweiten, Standzeiten und Transportkapazität etc. deutliche Unterschiede gegenüber dem Erstwagen des Haushaltes aufzeigen, die sich auf das für Elektroautos abzuleitende Anforderungsprofil positiv auswirken dürften.

3.2 Pkw-Fahrtweiten

Die Pkw-Fahrtweite entspricht der Entfernung eines Weges zwischen Quelle und Ziel, die mit dem Pkw zurückgelegt wird. Die Verteilung der Pkw-Fahrtweiten gibt einen Eindruck, welche Pkw-Fahrtweiten über einen längeren Zeitraum zurückgelegt werden. Sie ist für das Anforderungsprofil eines Elektroautos aus Gründen der Speicherkapazität für Batterien und des Fahrkomfort von Bedeutung. Die mittlere Pkw-Fahrtweite beträgt werktags 12 km. Diese liegt am Samstag mit 11 km etwas darunter und am Sonntag bei 15 km. Diese Ergebnisse der Fahrtweiten liegen deutlich unter der allgemein angenommenen Größe von Pkw-Fahrtweiten. Die kumulierte Fahrtweitenverteilung in Abb. 4 zeigt, dass 75 % der realisierten Pkw-Fahrtweiten unter 15 km liegen. Zwischen den Tagestypen gibt es große Unterschiede, da sich die Fahrtmotive an Werktagen gegenüber jenen am Wochenende stark unterscheiden: Werktags sind die Pendler und Geschäftsfahrten dominant, am Samstag die Versorgungs- und Einkaufsfahrten, während am Sonntag, sehr vom Wetter abhängig, die Freizeitfahrten mit den längsten Fahrtweiten quantitativ im Vordergrund liegen. Es ist festzuhalten, dass in den USA die Pkw-Fahrtweiten etwa auf doppelt so hohem Niveau als in Europa liegen (Sammer, Berger, Matiasek, 2002). Dies ist einerseits mit der deutlich dünneren und weitläufigeren Besiedlung und andererseits mit den deutlich geringeren Energiepreisen in Relation zum Einkommen zu begründen.

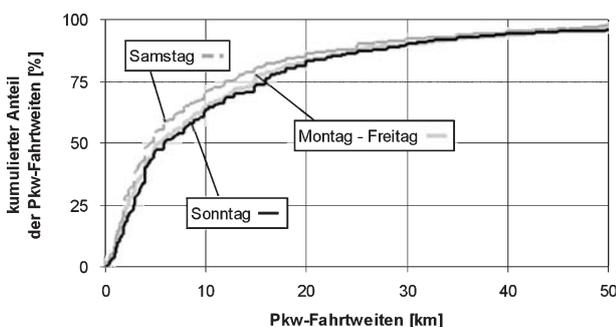


Abb. 4. Kumulierte Häufigkeitsverteilung der mittleren Pkw-Fahrtweiten, Stichprobenumfang: werktags 12.290, samstags 2.102 und sonntags 1.192 Pkw-Fahrten

Um für die erwünschte Reichweite und der damit benötigten Speicherkapazität von Elektroautos Anhaltspunkte zu bekommen, ist die Kenntnis der Verteilung der über einen längeren Zeitraum zurückgelegten maximalen Fahrtweiten der einzelnen Wege von Bedeutung (Abb. 5). Die innerhalb von sechs Wochen zurückgelegte maximale Fahrtweite ist im Mittel drei- bis sechsmal höher als die durchschnittliche Fahrtweite: Werktags liegt sie bei 68 km, samstags bei 42 km und am Sonntag bei 45 km. Dies zeigt deutlich, dass die Anforderungen an ein Elektroauto über die weitaus höher liegenden maximalen Pkw-Fahrtweiten definiert werden müssen, wenn die Anforderungen aus Nutzersicht ernst genommen werden. Die Ana-

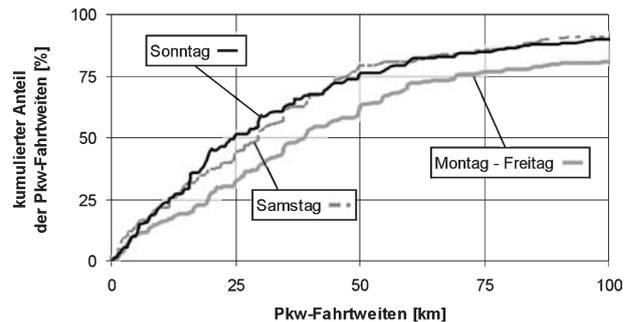


Abb. 5. Kumulierte Häufigkeitsverteilung der je Zielperson im Beobachtungszeitraum durchgeführten maximalen Pkw-Fahrtweiten, Stichprobenumfang: werktags 179, samstags 155 und sonntags 140 Pkw-Fahrten

lyse der kumulierten Häufigkeitsverteilung der Pkw-Fahrtweiten in Abb. 5 zeigt folgendes Ergebnis: 75 % der von den Zielpersonen durchgeführten maximalen Pkw-Fahrtweiten an Werktagen liegen unter 70 km, dies entspricht etwa dem Fünffachen der durchschnittlichen Pkw-Fahrtweite der einzelnen Wege.

3.3 Pkw-Tagesfahrtweiten

Die Pkw-Tagesfahrtweite entspricht der mit dem Pkw zurückgelegten Entfernung eines Pkw-Lenkers. Dieser Wert ist für das Anforderungsprofil bezüglich der erwünschten Tagesreichweite und der dafür benötigten Speicherkapazität der Batterien von Elektroautos besonders relevant, wenn man davon ausgeht, dass der Aufladevorgang primär während der Standzeit in der Nacht (z. B. auf dem Abstellplatz bei der Wohnung) stattfinden wird. Es ist allerdings für die Interpretation der Analyse der Pkw-Tagesfahrtweiten festzuhalten, dass in Innenstadtbereichen nur eine Minderheit der Autobesitzer über einen privaten Abstellplatz verfügt, der mit einer Ladestation versorgt werden könnte. Das Ergebnis der Analyse zeigt, dass die mittleren Tagesfahrtweiten an Werktagen 47 km, samstags und sonntags 40 km betragen. Die kumulierte Häufigkeitsverteilung der Tagesfahrtweiten ist in Abb. 6 dargestellt: 75 % der werktäglichen Pkw-Tagesfahrtweiten liegen unter 60 km, am Wochenende liegen sie unter 50 km.

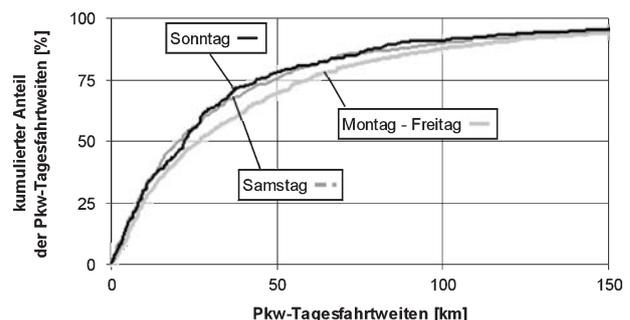


Abb. 6. Kumulierte Häufigkeitsverteilung der Pkw-Tagesfahrtweiten, Stichprobenumfang: werktags 3.231, samstags 603 und sonntags 429 Pkw-Tagesfahrten

Besonders relevant für das Anforderungsprofil der Reichweite aus der Sicht der potentiellen Nutzer von Elektroautos ist die realisierte maximale Pkw-Tagesfahrtweite im Beobachtungszeitraum von sechs Wochen. Sie liegt beträchtlich höher als die mittlere Tagesfahrtweite. Die Mittelwerte der maximalen Pkw-Tagesfahrtweiten bewegen sich werktags bei 123 km, samstags bei 74 km und sonntags bei 72 km. Die kumulierte Häufigkeitsverteilung der maximalen Pkw-Tagesfahrtweiten ist in Abb. 7 dargestellt. 75 % der durchgeführten

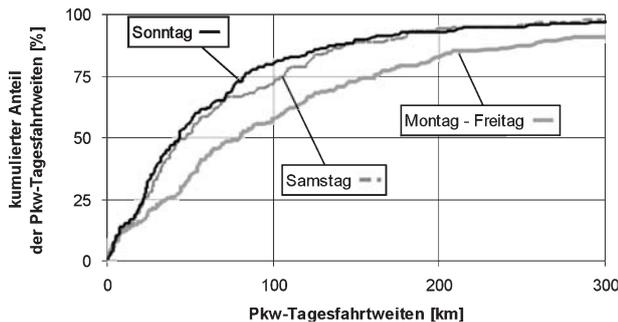


Abb. 7. Kumulierte Häufigkeitsverteilung der je Zielperson im Beobachtungszeitraum durchgeführten maximalen Pkw-Tagesfahrweiten, Stichprobenumfang: werktags 179, samstags 155 und sonntags 140 Pkw-Tagesfahrten mit maximaler Tagesfahrweite

maximalen Tagesfahrweiten liegen bei 161 km für Werktage, bei 107 km an Samstagen sowie unter 82 km an Sonntagen. Letztendlich ist anzustreben, dass Elektroautos eine Tagesreichweite von möglichst mehr als 200 km aufweisen, wenn sie die Ansprüche potentieller Nutzer erfüllen sollen, die derzeit Autos mit Verbrennungskraftmotoren gewohnt sind. Dieser Wert liegt deutlich über der wünschenswerten Mindestreichweite zwischen 80 und 100 km, die in der Studie über Elektroautos in den USA und Europa genannt wurde (Knie *et al.*, 1999). Einschränkend ist festzuhalten, dass diese Aussage nur eine vorläufige Gültigkeit haben kann. Für eine ausreichend abgesicherte Aussage ist es notwendig, Verkehrsverhaltensdaten für längere Beobachtungszeiträume zu analysieren. Anzustreben sind ganzjährige Beobachtungsperioden einer repräsentativen Stichprobe, wobei eine Differenzierung nach Erst-, Zweit- und Drittauto notwendig ist, um die verschiedenen Anforderungsprofile bezüglich der Reichweite von Elektroautos und der sich daraus ergebenden Speicherkapazität herauszuarbeiten.

3.4 Tagesganglinie der Energienachfrage von Elektroautos

Eine wichtige Kenngröße für die Planung der elektrischen Energiebereitstellung für den Ladevorgang ist die Tagesganglinie für die Pkw-Standzeiten, gewichtet mit der notwendigen Speichermenge an benötigter Energie, die sich aus der mittleren Tagesfahrweite ableitet. Folgende Annahmen wurden für die Ermittlung dieser Ganglinie getroffen: Der Ladevorgang findet während der nächtlichen Standzeit nach der letzten Tagesfahrt und vor der ersten Tagesfahrt am Folgetag statt; die benötigte Ladeenergie wird nach der am betrachteten Tag durchgeführten Tagesfahrweite abgeschätzt, wobei natürlich eine Reservemenge einzuplanen ist. Die benötigte elektrische Ladeenergie wird gleichmäßig über die Standzeit bereitgestellt. Damit ergibt sich die in Abb. 8 dargestellte

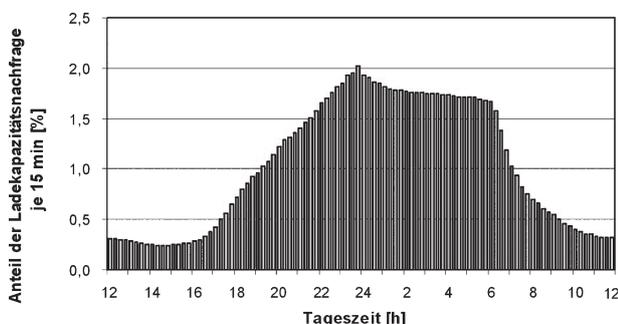


Abb. 8. Tagesganglinie der Ladeenergienachfrage von Elektroautos während der Standzeit nach der letzten Fahrt des Vortages und der ersten Fahrt am Folgetag unter Berücksichtigung der am Tag durchgeführten Tagesfahrweite

Nachfrage nach Ladeenergie. Die Ordinate repräsentiert die pro Zeiteinheit benötigte Ladeenergie (Strommenge), ausgedrückt in % des gesamten Tagesenergiebedarfs. Es zeigt sich folgendes Bild: Ab 12 Uhr mittags verläuft die Ganglinie der stündlichen Energienachfrage auf dem Niveau von etwa 1 % der Ladestrommenge eines Tages. Ab 18 Uhr steigt die stündliche Energienachfrage nahezu linear und erreicht etwa kurz nach Mitternacht die Spitze mit 8 % der Tagesnachfrage. Bis etwa 6 Uhr morgens sinkt sie schwach auf 6,5 % der Tagesnachfrage und fällt dann bis 12 Uhr mittags rasch ab auf das Niveau von etwas über 1 %. Das Minimum der Energienachfrage liegt mit 1 % der Tagesnachfrage bei etwa 15 Uhr. Es zeigt sich also, dass sich die Energienachfrage von Elektrofahrzeugen komplementär zur elektrischen Energienachfrage der Haushalte verhält. Es ist anzumerken, dass die Spitzen der Ganglinie der Energienachfrage höher liegen, wenn die Ladezeiten kürzer als die Standzeiten der Elektroautos angenommen werden.

Grundsätzlich ist auch die Kenntnis der Tagesganglinie der Energienachfrage von Elektroautos unter Berücksichtigung aller über den Tag verteilten Standzeiten der Autos von Interesse. Diese Ganglinie setzt voraus, dass an allen Standorten bzw. Abstellplätzen von Autos eine Lademöglichkeit vorhanden ist, wenn über kürzere Zeitperioden geparkt wird. Dies ist sicher für öffentliche Stellplätze am Straßenrand auch in Hinkunft auszuschließen. Die vorliegenden Daten lassen jedoch keine Differenzierung nach privaten und öffentlichen Stellplätzen zu. Das bedeutet, dass mit der vorhandenen Datengrundlage keine Aussagen für die Auswirkungen von zwischenzeitlichen Ladevorgängen auf die Tagesganglinie der Energienachfrage getätigt werden können.

3.5 Schlussfolgerungen

Aus dieser Analyse des Pkw-Fahrtverhaltens lassen sich für das Anforderungsprofil aus der Sicht der Reichweite und Verteilung der Energienachfrage für die Ladevorgänge vorläufige Aussagen ableiten, die weit über die Erkenntnisse der vorhandenen Studien hinausgehen. Bezieht man sich auf die von vielen Herstellern angestrebte Reichweite von 80 km, lässt sich ableiten, dass mit solchen Elektroautos zwar 80 % der maximalen Pkw-Fahrtweiten eines Weges (Abb. 5), aber nur ca. 50 % der maximalen Pkw-Tagesfahrweiten (Abb. 7) von Werktagen abgedeckt werden können. Die Ergebnisse dieser Analyse unterstreichen deutlich, dass es unbedingt notwendig ist, eine Langzeiterhebung mit spezifischen Fragestellungen für die Anforderungen und Ansprüche an die elektrische Mobilität aus der Sicht der potentiellen Nutzer durchzuführen, um seriöse Ergebnisse liefern zu können. Solche Langzeiterhebungen sind heute mit Hilfe der GPS-Technologie möglich geworden, ohne die Pkw-Lenker mit dem Befragungsaufwand zu überfordern.

4. Anreizmaßnahmen

Wie eingangs festgestellt wurde, sind für eine erfolgreiche Implementierung von Elektroautos neben der technologisch bedingten Infrastruktur und der Erfüllung des Anforderungsprofils aus der Sicht des potentiellen Nutzers für das Fahrzeug eine Reihe von weiteren Maßnahmen sowie eine verkehrspolitische Anpassung der Rahmenbedingungen im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes notwendig und hilfreich. Eine wesentliche verkehrspolitische Zielsetzung ist es, dass Elektroautos gegenüber den herkömmlichen Autos mit Verbrennungsmotoren im volkswirtschaftlichen Sinn wettbewerbsfähig sind. Eine Untersuchung der Wegekosten zeigt (Herry, Sedlacek, 2003), dass Personenkraftwagen mit Verbrennungsmotor einen volkswirtschaftlichen Kostendeckungsgrad von rund 38 % aufweisen. Von den volkswirtschaftlichen Gesamtkosten sind für den Nutzer 62 % externe Kosten, die unter anderem aus externen Unfallkosten und Umweltkosten (Lärm- und Schadstoffkosten) bestehen. Der Anteil der Umweltkosten an den volkswirtschaftlichen

Gesamtkosten liegt für den Pkw bei rund 29 %. Je nach Produktionsart von elektrischer Energie haben Elektroautos in der Regel geringere Umweltauswirkungen, vor allem in Bezug auf Abgas-, Treibhausgasemissionen und der Lärmimmission. Elektroautos können also die externen Umweltkosten deutlich senken. Diese geringeren externen Kosten sind in geeigneter Form den Nutzern gutzuschreiben. Das kann durch geringere Kfz-Steuern, geringere Parkgebühren, reduzierten Mautgebühren (z. B. Vignette oder Stadtmaut wie in London) oder Ähnliches erfolgen. Diese Art der Gutschreibung hat zugleich einen Lenkungseffekt im Sinne der verkehrspolitischen Zielsetzungen. Die heute vorhandenen finanziellen Anreizmaßnahmen, wie die Befreiung von der motorbezogenen Versicherungssteuer und von der Normverbrauchsabgabe für Elektrokraftfahrzeuge sind für eine signifikante Erhöhung des Marktanteils keinesfalls ausreichend. Eine weitere Art von Anreizmaßnahmen kann in Form von Bevorzugungen von Elektrokraftfahrzeugen durch verkehrsorganisatorische Regelungen für die Verkehrsinfrastruktur implementiert werden. Beispielhaft sind hier folgende Möglichkeiten zu nennen: Ausnahmen von Einfahrtsverboten in Umweltzonen (*Wikipedia, 2008*), wie sie z. B. in Zermatt in der Schweiz existiert, die Benützungserlaubnis von Fahrgemeinschaftsfahrestreifen (*Höfler et al., 1999*) ohne Mitfahrer oder von vorhandenen Busfahrestreifen (solange dadurch keine Behinderung für den öffentlichen Verkehr entsteht), die prioritäre Behandlung von Elektroautos an lichtsignalgesteuerten Pfortner- und Ramp-metering-Anlagen², die Bereitstellung von eigenen Stellplätzen sowohl in Garagen als auch im öffentlichen Straßenraum, die Ausnahme vom Fahrverbot im Falle von Grenzwertüberschreitungen von Feinstaub usw.

5. Schlussfolgerungen

Die Rahmenbedingungen für Autos mit Verbrennungsmotor auf Basis fossiler Treibstoffe sind heute einem starken Veränderungsprozess unterworfen. Die Treibhausgasemissionen sind in Zukunft auch im Verkehrssektor verstärkt zu reduzieren. Es ist anzunehmen, dass die Energiepreise fossiler Treibstoffe in Zukunft aufgrund der weltweit wachsenden Nachfrage in den Entwicklungsländern und des Verknappungsrisikos deutlich steigen werden. Damit wächst die Bedeutung alternativer Antriebskonzepte. Die technologische Entwicklung elektrischer Antriebe hat in den letzten Jahren insbesondere bezüglich der Batterietechnologie und der Speicherkapazität deutliche Fortschritte gemacht, so dass die elektrische Mobilität eine neue Chance bekommt. Eine erfolgreiche Entwicklung von elektrischen Mobilitätskonzepten sollte aus den Entwicklungs- und Implementierungsfehlern der Vergangenheit lernen und folgende Punkte auf alle Fälle beachten:

- ▶ Die Entwicklung der elektrischen Mobilität darf sich nicht nur auf die Antriebstechnologie fokussieren, sondern muss auch ein auf den elektrischen Antrieb abgestimmtes funktionales Fahrzeugkonzept einbeziehen.
- ▶ Voraussetzung für diese Entwicklung ist die Kenntnis eines auf die Bedürfnisse der potentiellen Nutzer abgestimmten Anforderungsprofils für die elektrische Mobilität. Das heißt, dass ein Elektroauto aus der Sicht der Nutzer an dem Niveau des heutigen Mobilitätsverhaltens mit herkömmlichen Autos gemessen wird. Für die Ermittlung des Anforderungsprofils sind spezielle interaktive Befragungstechniken sowie Erhebungstechniken, die eine

Langzeitbeobachtung des Mobilitätsverhaltens ermöglichen, anzuwenden.

- ▶ Die Anforderungen der potentiellen Nutzer sind als Basis für die Zieldefinition der Entwicklungsarbeit für Elektrokraftfahrzeuge heranzuziehen und laufend im Entwicklungsprozess zu überprüfen bzw. die Zielerreichung in Feldversuchen abzutesten.
- ▶ Eine erfolgreiche Implementierung der elektrischen Mobilität benötigt neben einem geeigneten Fahrzeugangebot die nötige Infrastruktur für den Fahrzeugunterhalt und geänderte verkehrspolitische Rahmenbedingungen in Form von Anreizmaßnahmen. Das heißt, dass mit den lokalen und nationalen Entscheidungsträgern und relevanten Interessensvertretern Diskussionen aufzunehmen sind, die eine gesamte Palette von ergänzenden Maßnahmen finanzieller und verkehrsorganisatorischer Art umfassen. Diese Anreizmaßnahmen sind mit den signifikant geringeren externen Kosten der elektrischen Mobilität gegenüber den herkömmlichen Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor zu argumentieren.
- ▶ Es ist zu empfehlen, dass in diesem fortgeschrittenen Entwicklungsstand der elektrischen Mobilität lokal auf Ballungsräume begrenzte Großversuche stattfinden, die diese Anreizmaßnahmen im Sinne eines ganzheitlichen Konzeptes beinhalten.

Aus heutiger Sicht ist festzustellen, dass die elektrische Mobilität einen wesentlichen Beitrag zur Lösung der globalen zukünftigen Verkehrs- und Umweltprobleme leisten kann, wenn der Entwicklungsprozess auf eine ganzheitliche Basis gestellt wird.

Danksagung

Die Autoren danken dem Eidgenössischen Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation/Bundesamt für Strassen in Bern, dem Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme – IVT an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, dem Büro Widmer in Frauenfeld, Schweiz, sowie ihren Verantwortlichen und den Studienautoren der „Untersuchung der Stabilität des Verkehrsverhaltens“ (*Löchl et al., 2005*) für die Erlaubnis, die im Rahmen dieser Studie erhobenen Verkehrsverhaltensdaten als Grundlage für die Analyse der vorliegenden Forschungsarbeit verwenden zu dürfen.

Literatur

- Axhausen, K., Sammer, G. (2001): Hypothetische Märkte als Befragungsthema. In: Internationales Verkehrswesen, H. 6/2001, 53. Jg. Hamburg: Deutscher Verkehrsverlag: 16–20.
- Herry, M., Sedlacek, N. (2003): Österreichische Wegekostenrechnung für die Straße 2000 (Straßenforschung, H. 528, hrsg. v. BMVIT, Wien): 161.
- Höfler, L., Sammer, G., Berger, W. J., Roeder, O. (1999): Mitbenutzung des Busfahrestreifens auf der B127 durch mehrfach besetzte Kraftfahrzeuge – Analyse der Auswirkungen. In: Straßenverkehrstechnik, H. 11, 43. Jg. Bonn: Kirschbaumverlag: 567–572.
- Höpfner, U., Pehnt, M., Merten, F. (2007): Elektromobilität und erneuerbare Energien. Arbeitspapier Nr. 5 im Rahmen des Projektes „Energiebalance – Optimale Systemlösungen für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz“. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg und Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie: 16.
- Kalhammer, F. R., Kopf, B. M., Swan, D. H., Roan, V. P., Walsh, M. P. (2007): Status and Prospects for Zero Emission Vehicle Technology. Report of the ARB Independent Expert Panel 2007. Prepared for the State of California Air Research Board. Sacramento: 207.
- Knie, A., Bertholt, O., Harms, S., Truffer, B. (1999): Die Neuerfindung urbaner Automobilität – Elektroautos und ihr Gebrauch in den U.S.A. und Europa. Berlin: Edition Sigma: 106.
- Löchl, M., Schönfelder, S., Schlich, R., Bühl, Th., Widmer, P., Axhausen, K. (2005): Untersuchung der Stabilität des Verkehrsverhaltens. Forschungsauftrag SVI 2001/514 für das Eidgenössische Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation/Bundesamt für Strassen: 139.
- Pischinger, R., Hausberger, S., Sudy, C., Meinhardt, J., Sammer, G., Thaller, O., Schneider, F., Stiglbauer, M. (1998): Volkswirtschaftliche Kosten-Wirksamkeitsanalyse von

² Unter Pfortner- und Ramp-metering-Anlagen versteht man verkehrsbabhängige Verkehrslichtsignalanlagen, die über Detektoren den Verkehrsfluss auf staugefährdeten Strecken oder Straßennetzbereichen laufend kontrollieren und den Zufluss des Verkehrs an den Pfortner- und Ramp-metering-Anlagen durch Steuerung der Grünzeitanteile so regeln, dass im betrachteten Streckennetz keine Überlastung entsteht bzw. eine gewünschte Verkehrsflussqualität erhalten bleibt.

- Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen in Österreich. Schriftenreihe des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz, H. 72. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie und der Akademie für Umwelt und Energie, Graz, Wien, Linz: 228.
- Sammer, G. (1977): Elektroauto und Verkehrsplanung (Umweltfreundliches Stadtfahrzeug – Potentieller Absatzmarkt gegeben). Wiener Zeitung, Ausgabe 3. 12. 1977.
- Sammer, G., Berger, J. W., Matiassek, F. (2002): Travel Behaviour Patterns in the USA and Austria in Comparison – An Instructive Lesson for Transport Policy. Proc. of the European Transport Conf. 2002, Homerton College, Cambridge, Sept. 9–11, 2002, PTRC, London.
- Sammer, G., Gruber, Ch., Hössinger, R. (2008): Level of Knowledge and Awareness about Choice Alternatives – A Missing Link of Stated Response Surveys? – A Hypothesis. Proc. of the 8th Int. Conf. on Survey Methods in Transport: Harmonisation and Data Comparability, Workshop B3: Evaluating Behaviour in the Context of Interest in Environmental Sustainability, ISCTSC, Anney, France, May 25–31, 2008: 22.
- Sammer, G., Wernsperger, F. (1994/1): Stadtverkehr der Zukunft. Neues Motorisiertes Zweirad. Schriftenreihe des Instituts für Eisenbahnwesen, Straßenbau und Verkehrswesen, TU Graz, H. 18. Graz: Verlag für die Technische Universität: 70.
- Sammer, G., Fallast, K., Wernsperger, F. (1994/2): Change of Travel Behaviour in Conditions of Road Pricing and Zero CO₂-Emissiones in Urban Traffic – Methods and Results. Proc. of the Int. Conf. on Travel Behaviour, Chile, June 1994: 12.
- Statistik Austria (2008): Statistik der Kraftfahrzeuge, Bestand am 31. 12. 2007. Hrsg: Statistik Austria, Wien: 321.
- Theißing, K. (2005): Elektroantriebe. (http://www.buerger-fuer-technik.de/body_elektroantriebe.html 5. 8. 2008)
- Wikipedia (2008): Elektroauto. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Elektroauto> 22. 8. 2008)
- Wikipedia (2008): Umweltzonen. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Umweltzonen> 22. 8. 2008)

Autoren



Gerd Sammer

Geboren 1944 in Graz. Studium des Bauingenieurwesens, Promotion und Habilitation an der Technischen Universität Graz. Von 1970 bis 1995 Universitätsassistent am Institut für Straßenbau und Verkehrswesen an der Technischen Universität Graz. Seit 1987 Leiter des Zivilingenieurbüros Sammer & Partner Verkehrsplanung. Seit 1996 Ordentlicher Universitätsprofessor und Leiter des Instituts für

Verkehrswesen, Department Raum Landschaft und Infrastruktur an der Universität für Bodenkultur, Wien. Arbeitsschwerpunkte: Verkehrsplanung, Verkehrsplanungsmethoden und Verkehrsverhalten, ökonomische und ökologische Auswirkungen des Verkehrs, Verkehrsprognosen und Maßnahmenkonzepte.



Christian Joachim Gruber

Geboren 1969 in Graz. Abschluss der Ingenieurausbildung für Elektrotechnik in Graz. Studium der Kulturtechnik und Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur, Wien. Seit 2000 beschäftigt im Zivilingenieurbüro Sammer & Partner Verkehrsplanung, Graz. Arbeitsschwerpunkte: Verkehrskonzepte, Verkehrsprognosen, Verkehrssimulationen, verkehrstechnische Gutachten. Seit 2008 Studienaufenthalt in Boston, USA



Dagmar Meth

Geboren 1970 in Eisenstadt. Studium der Kulturtechnik und Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur, Wien. Seit 1998 Forschungsassistentin am Institut für Verkehrswesen, Department Raum Landschaft und Infrastruktur an der Universität für Bodenkultur, Wien. Arbeitsschwerpunkte: Mobilitätsforschung, Verkehrsstatistik, Verkehr und Versorgung im ländlichen Raum.