









# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Aufbau der Studie.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Einführung in das Thema .....</b>	<b>9</b>
<b>3 Themen für die ITA-Forschung .....</b>	<b>11</b>
3.1 Technik und Infrastruktur.....	11
3.1.1 Verbesserung der Batterien in der Vergangenheit .....	12
3.1.2 Vergleich mit Flüssigtreibstoffen.....	12
3.1.3 Neue Konzepte für reine Elektro-Pkw .....	13
3.1.4 Das Aufladen der Pkw-Traktionsbatterie .....	14
3.1.5 Alternative Batteriekonzepte .....	15
3.1.6 Zukünftige Weiterentwicklung der Batterien.....	16
3.1.7 Hybridantriebe.....	17
3.1.8 Plug-In-Hybridfahrzeuge.....	17
3.1.9 Elektrofahrzeuge mit Range Extender.....	18
3.1.10 Elektromobilität und intelligente Stromnetze.....	19
3.2 Sozio-ökonomische und ökologische Aspekte .....	20
3.2.1 Erwartete Zielgruppen und Mobilitätsmuster.....	21
3.2.2 Geschäftsmodelle/ Nutzungskonzepte.....	26
3.2.3 Sicherheit und Handhabung .....	31
3.2.4 Politische Rahmenbedingungen .....	33
3.2.5 Umweltauswirkungen.....	35
3.2.6 Rohstoffe und Recycling .....	37
<b>4 Offene ITA-Fragestellungen .....</b>	<b>39</b>
4.1 Technik und Infrastruktur.....	39
4.2 Einfluss auf Wirtschaftsstruktur und Ausbildung .....	40
4.3 Entwicklung von Präferenzen und Mobilitätsmustern.....	40
4.4 Fördermöglichkeiten und politische Rahmenbedingungen .....	41
4.5 Ökologische Fragen, „Sauberkeit“ und Elektromobilität.....	42
4.6 Siedlungsstruktur.....	42
<b>5 Vorschläge zur methodischen Umsetzung .....</b>	<b>43</b>
5.1 Meta-Szenarien zur Integration verschiedener Wissensstände.....	43























































kehrsmittel miteinander kombiniert und vor allem die Überbrückung der „last mile“ für den Nutzer individuell, flexibel und schnell ermöglichen könnte.

Vor diesem Hintergrund lassen sich in den zahlreichen Studien zur zukünftigen Entwicklung der Elektromobilität zwei grundsätzliche Erwartungshaltungen ausmachen:

- Manche Argumentationen gehen davon aus, dass elektrische Fahrzeuge die bisherigen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ersetzen müssen, ohne dass sich die bisherigen Mobilitätsmuster wesentlich verändern. Das bedeutet, dass die elektrisch betriebenen Fahrzeuge in punkto Kosten, Reichweite und Ladezeit in Bereiche kommen müssen, die mit den bisherigen Fahrzeugen vergleichbar sind. Individuelle Mobilität würde demnach auch weiterhin durch individuellen Autobesitz geprägt. Vielen Experten sind laut einer Studie (Fraunhofer, PwC 2010) allerdings der Meinung, dass Elektroautos aus technologischen Gründen selbst in zehn Jahren noch nicht das Niveau herkömmlicher Autos erreichen – zumindest in Bezug auf Reichweite und die Gesamtkosten.
- Andere Argumentationen führen an, dass sich Mobilitätsmuster und Präferenzen immer im Wechselspiel mit den technologischen Entwicklungen verändert haben; demnach wäre davon auszugehen, dass sich auch in Zukunft die Mobilitätsmuster zumindest bis zu einem gewissen Grad den technischen Settings anpassen werden. Dazu gehört auch, dass sich die enge Bindung zwischen Autobesitz und individueller Mobilität etwas auflösen könnte. In vielen Argumentationen spielen dabei Geschäftsmodelle wie Car-Sharing oder das Leasen von Autobatterien eine zentrale Rolle.

Die beiden Optionen schließen sich keineswegs aus; bereits heute gibt es Mobilität ohne Autobesitz und Car-Sharing hat einen zwar kleinen, aber stetig wachsenden Marktanteil. Bei den genannten Perspektiven handelt es sich somit eher um zwei Extrempunkte zwischen denen sich ein Kontinuum aufspannt. In vielen Studien werden die Mobilitätsmuster mittlerweile nicht als starr und unflexibel betrachtet, sondern bis zu einem gewissen Grad flexibel. Oft wird den Geschäftsmodellen dabei große Bedeutung beigemessen. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die im Zusammenhang mit der Elektromobilität diskutierten Geschäftsmodelle.

### 3.2.2 Geschäftsmodelle/ Nutzungskonzepte

Bereits im vorhergehenden Kapitel wurde mehrfach auf die Bedeutung neuer Geschäftsmodelle für die Entwicklung der Elektromobilität eingegangen. In vielen Studien<sup>36</sup> werden solche Geschäftsmodelle diskutiert, da sie die Möglichkeiten eröffnen, die technischen Nachteile gegenüber herkömmlichen Kraftfahrzeugen, zumindest teilweise auszugleichen. Oft stehen dabei Alternativen zum Autokauf und Besitz im Vordergrund womit den hohen Anschaffungskosten oder der begrenzten Haltbarkeit der Batterien entgegen gewirkt werden kann.

Verschiedene Ansätze für Geschäftsmodelle lassen sich beobachten. Häufig spielt die Akteurskonstellation eine wichtige Rolle. Heutige Pilotprojekte zur Elektromobilität setzen sich in der Regel aus mehreren Akteuren zusammen wie Automobilherstellern, Energieversorgern, dem Staat und weiteren Technologiepartnern. Um solche Pilotprojekte in Richtung Kommerzialisierung weiter zu entwickeln, müssen aus ihnen heraus profitable, langfristige Geschäftsmodelle entstehen (RolandBerger 2009). Unterschiedliche Organisationsmodelle sind dabei denkbar: Ein Partner, zumeist ein OEM stellt das Auto bereit, ein anderer ist für die Infrastruktur zuständig. Ein Beispiel wäre das E-Mobility Projekt von Daimler und RWE in Berlin. Andere Modelle bestehen nur aus einem OEM, der sich auf die Produktion der Fahrzeuge konzentriert und keine eigene spezielle Ladeinfrastruktur zur Verfügung stellt. Wieder andere Ansätze wie „Better Place“

<sup>36</sup> Vgl. z.B. Fraunhofer, PwC 2010; Marwede, Knoll 2010

(s.u.) stellen vor allem die Infrastruktur bereit und legen hier ihren Schwerpunkt, das Auto ist weniger von Bedeutung und wird von einem Partner zur Verfügung gestellt.

Die Installation von Ladestationen und deren Finanzierung allein über die Stromkosten erscheint schwierig. Hierfür werden Investitionen von 1.000 € bis 7.000 € plus Wartungskosten von 150 € im Jahr angesetzt (Wietschel 2009). Bei täglich fünf zu ladenden Fahrzeugen mit je 12 kWh und 0,20 €/kWh entspräche das einem Umsatz von etwa 4.400 €/Jahr (Marwede, Knoll 2010). Bei Berücksichtigung der Stromgestehungskosten lassen sich Investition und Betrieb also nur langfristig finanzieren, und dies in einem durch zukünftige Technologieentwicklungen und bisher nicht definierende Standards noch nicht gefestigtem Marktumfeld. Dementsprechend stellen beispielsweise die Stadtwerke Düsseldorf Ladestationen nur dann auf, wenn sie von der öffentlichen Hand gefördert werden; aus dem Verkauf des Stroms wären sie nicht finanzierbar.<sup>37</sup>

Vielen Ansätzen ist gemein, dass der Verbraucher das Auto oder zumindest die Batterie nicht mehr kauft und besitzt, sondern vornehmlich nutzt und für diese Nutzung bezahlt. Eine Möglichkeit, die hohen Anschaffungskosten von Elektroautos für den Endnutzer zu umgehen, ist z.B. konventionelles Leasing, mit dem kompletten Elektroauto als Leasingobjekt. So wird der neue vollelektrische iON von Peugeot ab Ende 2010 für rund 500 Euro pro Monat auf den deutschen Markt kommen (Peugeot 2010). Im Folgenden werden einige Geschäftsmodelle skizziert, die in der Literatur häufig Erwähnung finden und teilweise bereits in der Praxis umgesetzt werden.

#### **Car-Sharing und Elektromobilität**

Ein Geschäftsmodell, welches auf den Bereich der Elektromobilität ausgedehnt werden könnte und zumindest ansatzweise auch schon wird, ist das Car-Sharing. Car-Sharing bezeichnet die gemeinschaftliche Nutzung von Autos, welche heute professionell von Car-Sharing-Organisationen organisiert und angeboten wird. Die Fahrzeuge werden dabei, oft auf speziell angemieteten Parkplätzen, über eine gewisse Gegend an strategisch wichtigen Knotenpunkten wie Bahnhöfen, Straßenbahn- und Bushaltestellen verteilt. In der „klassischen“ Form des Car-Sharings buchen die Kunden die Fahrzeuge vorab und nutzen sie dann für einen festgelegten Zeitraum. Die Kosten setzen sich aus den gefahrenen Kilometern und der gebuchten Zeit zusammen, zudem fällt eine monatliche Grundgebühr von meist wenigen Euro an.

Car-Sharing versteht sich als Teil einer kombinierten Mobilität und ist eher für unregelmäßige Fahrten geeignet, als für regelmäßige Pendelfahrten. Autobesitzer ist die Car-Sharing-Organisation, auch Wartung und Reparaturen werden von ihr normalerweise durchgeführt. Ca. 160.000 Kunden nutzen diese klassische Form des Car-Sharings mittlerweile in Deutschland, bei stetigen und meist zweistelligen Wachstumsraten über die letzten 15 bis 20 Jahre.<sup>38</sup> Deutschland ist bereits heute mit insgesamt 270 Städten, in denen Car-Sharing angeboten wird, der größte Car-Sharing Markt Europas (Frost, Sullivan 2010). Nach einer Studie von Frost & Sullivan (2010) wird Car-Sharing in Europa weiter wachsen, die Unternehmensberatung geht von etwa 5,5 Millionen Nutzern europaweit bis 2016 aus, andere Schätzungen liegen niedriger (BCS 2010). Neuere Konzepte experimentieren mit frei zu wählenden Rückgabezeiten „open-end“, der Möglichkeit, das Fahrzeug nicht an seinen Ursprungsort zurückbringen zu müssen (one-way option), sowie mit der Möglichkeit das Fahrzeug ohne aufwändige Vorbuchung sozusagen spontan nutzen zu können (Instant Access option) (Loose, Mohr, Nobis 2004).

Car-Sharing bietet im Gegensatz zum privaten Autobesitz im Hinblick auf Elektromobilität einige Vorteile bzw. die prinzipiellen positiven Effekte des Car-Sharings kommen in diesem Kontext besonders gut zur

---

<sup>37</sup> persönliche Mitteilung Dr. Susanne Stark, Stadtwerke Düsseldorf AG, Leiterin Energiewirtschaftliche Projekte, Projektleiterin Elektromobilität

<sup>38</sup> Vgl. <http://www.carsharing.de>

Geltung. Diese Vorteile sind die Verteilung der Fixkosten (Kfz-Steuern, Versicherungen, Wartung und Reparatur sowie Wertverlust) auf mehrere Schultern, welche insbesondere unter dem Aspekt des hohen Wertverlustes von Elektroautobatterien besonders interessant werden könnte (ADAC Motorwelt 2010). Auch die flexible, an den Bedarf angepasste Fahrzeugwahl und die damit verbundene Auswahl des erforderlichen Motorisierungsgrades (ICE, HEV, BEV) kommt der Elektromobilität zu Gute. Werden nur geringe Reichweiten für Unternehmungen innerhalb der Stadt beispielsweise benötigt, kann sich der Kunde ein Elektroauto nehmen, für den Urlaub hingegen kann er auf ein Auto mit Range Extender oder konventionellem Verbrennungsmotor zurückgreifen. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Erneuerungsquote des Fahrzeugpools, welche den Einsatz neuer, verbrauchsarmer Technologien generell begünstigt (Wilke 2002). Die Tatsache, dass viele Car-Sharing-Organisationen bereits eigene Infrastruktur (z.B. Schlüsseltresore) in Betrieb haben und speziell für ihre Autos angemietete Parkplätze unterhalten, dürfte eine konzentrierte und bedarfsgerechte Bereitstellung von Ladeinfrastruktur für BEVs begünstigen. Zu diesen technischen Vorteilen kommt, dass viele Car-Sharing-Nutzer ein hohes Umweltbewusstsein besitzen.

Aus all diesen Gründen erscheint eine verstärkte Integration von BEVs in Car-Sharing-Flotten sinnvoll, und ist laut Frost & Sullivan (2010) auch zu erwarten. Sicherlich sehr „optimistische“ Schätzungen von Frost & Sullivan (2010) gehen für Europa davon aus, dass 2012 jeder dritte Neuwagen eines Car-Sharing-Fuhrparks ein BEV sein wird und damit 20 % aller Car-Sharing-Autos batteriebetrieben sein würden. Letztlich darf aber nicht übersehen werden, dass auch die Car-Sharing-Anbieter auf eine wirtschaftliche Beschaffung ihrer Fahrzeuge achten müssen. Auch wenn sich BEV ins Betriebskonzept sehr gut einfügen lassen, bleiben die hohen Anschaffungskosten eine Hürde.

Vieles spricht dafür, dass zukünftig zumindest einige BEV in die Car-Sharing-Flotten integriert werden. So könnte Car-Sharing dazu beitragen die Markteinführung und Durchdringung von BEV zu beschleunigen und den Kunden Alternativen zum Kauf eines eigenen BEV bieten. Nicht zu vernachlässigen ist der Demonstrationseffekt den Elektroautos im Car-Sharing-Betrieb sowohl nach außen auf Passanten als auch für die Fahrer selbst haben. Für viele Menschen in Deutschland dürfte dies heute, neben den seit kurzem existierenden Angeboten von Autovermietungen (z.B. Sixt, siehe unten) oder Teilnahme an Pilotprojekten, die einzige Möglichkeit sein auf günstige und organisatorisch einfache Weise einmal selbst ein Elektroauto Probe zu fahren. Beispiele zeigen (siehe Kasten), dass Car-Sharing inzwischen auch von etablierten Automobilherstellern angeboten wird, die damit einen Schritt in Richtung Mobilitätsdienstleister gehen.

#### Beispiele für Car-Sharing (und ähnliche Ansätze)

**Autolib:** In Paris ist ab September 2011 das wahrscheinlich größte Car-Sharing-Projekt mit Elektroautos geplant, welches sich „Autolib“ nennt (Hopkins 2010). Der Plan sieht vor 3.000 Elektroautos an Parkstationen in Paris und der näheren Umgebung aufzustellen und für ca. 5 € pro 30 min Nutzungsdauer zu vermieten mit einem monatlichen Grundbeitrag von 15 €. Mehrere Autobauer für die Flotte sind im Gespräch, darunter auch Renault (ebd.). Das Programm ist sehr ähnlich aufgebaut wie das Elektrofahrradprogramm von Paris namens „Vélib“. Kunden können ohne Reservierung ein Auto von einem beliebigen Standort nehmen und es an einem anderen wieder abstellen. Das Programm ist also mit Instant Access und one-way Option ausgelegt. Es gibt Befürchtungen, dass es zu Vandalismus und Diebstählen insbesondere der teuren Batterien kommen könnte, da man im Velib Programm schlechte Erfahrungen mit gestohlenen oder beschädigten Fahrrädern machen musste (ebd.).

**Car2Go und Mu by Peugeot:** Zwei Beispiele in denen Autohersteller mit der Rolle als Mobilitätsdienstleister experimentieren sind „Car2Go“ in Ulm und „Mu by Peugeot“ in Berlin. Car2Go ist ein 2009 von Daimler in Ulm und Neu-Ulm initiiertes Car-Sharing-Projekt mit 200 Smarts, die ohne Vorbuchung (Instant Access), open-end und one-way allen registrierten Nutzern zur Verfügung stehen. Interessant an dem Modell sind die einfache Handhabung, das Wegfallen von Kautions- oder Monatsgebühren, das sehr simple Tarifmodell und der einfach gehaltene Zugang. Bisher steht nur ein Fahrzeugtyp zur Verfügung (N24 2010). Das Projekt wird sehr gut angenommen und wurde 2010 nach einem



Jahr Laufzeit um zusätzliche 100 Smarts erweitert (Gebhardt 2010). Etwa zwei Drittel der Car2go-Nutzer sind jünger als 30 Jahre (Fraunhofer, PwC 2010). Der Einsatz von Elektrofahrzeugen ist laut Aussage des Projektleiters Robert Henrich für die nächsten 2 bis 3 Jahre aus Kostengründen jedoch nicht geplant (N24 2010). Das Konzept soll auf Hamburg übertragen werden. Peugeot startete das Projekt „Mu by Peugeot“ in Berlin. Das Projekt umfasst eine breitere Angebotspalette, welche nicht nur aus Autos sondern auch Rollern, Elektrofahrrädern, Fahrrädern und Zubehör wie Dachgepäckträgern, Kindersitzen etc. besteht. Der große Unterschied zu Car2Go besteht darin, dass die Fahrzeuge nur an vier Filialen von Peugeot ausgegeben werden und dorthin auch wieder zurückgebracht werden müssen. Die Nutzung ist für registrierte Kunden günstiger, kann aber auch von nicht registrierten Kunden erfolgen (Blumenstein 2010). Bezahlt wird ähnlich dem Pre-Paid-Konzept des Handys mit so genannten Mobilitätspunkten, welche man sich auf sein Konto lädt. Im Gegensatz zum Ulmer Konzept, bei dem das Auto von Servicearbeitern zwischen den Vermietungen aufgetankt wird, oder der Kunde eine Vergünstigung bekommt, wenn er dies selbst tut, muss der Kunde bei Peugeot den Akku der E-Bikes und den Tank des Autos vor der Rückgabe aufladen bzw. auffüllen. Peugeot hat angekündigt ab Winter 2010 einige seiner iOn-Modelle in die Flotte mit aufzunehmen, und damit Elektroautos in das Programm zu integrieren (ebd.).

### **Better Place**

Das wohl bekannteste derzeitige Geschäftsmodell im Bereich der Elektromobilität ist „Better Place“. Dies ist der Name einer 2007 von Ex SAP Manager Shai Agassi gegründeten Firma, deren Ziel es ist eine flächendeckende Infrastruktur für Elektroautos aufzubauen.<sup>39</sup> Die Autos kommen vom Partner Renault-Nissan, der hierfür Serienmodelle wie den Renault Mégane und Nissan Quashgai elektrifiziert hat (Laufmann 2009).

Gestartet in Israel, hat die Firma mittlerweile mit Dänemark, Japan, Australien, einigen Städten in den USA (inklusive San Francisco) und Hawaii Verträge zum Aufbau der Infrastruktur unterzeichnet (Anderson, Mathews, Rask 2009). Das Unternehmen verkauft in erster Linie keine Autos, sondern Mobilität und orientiert sich hierfür am Konzept von Mobilfunkverträgen. Der Kunde kauft ein Strom- und Batterieabonnement, wie beim Handy gibt es das Nutzergerät, das Auto, gratis oder verbilligt unter der Bedingung, dass ein mehrjähriger Vertrag abgeschlossen wird, dazu (Hillenbrand 2008). Die Idee ist, dass verschiedene Tarifmodelle zur Wahl stehen: Flatrates für Vielfahrer oder kilometergenaue Abrechnung für Gelegenheitsfahrer. Jeder Kunde soll Zugriff auf 2,5 Ladestationen haben, eine bei ihm zu Hause, eine am Arbeitsplatz, die übrigen 0,5 Ladestationen wie herkömmliche Tankstellen verteilt, um eine möglichst vollständige Versorgung zu gewährleisten (Anderson, Mathews, Rask 2009; Laufmann 2009). Für Israel sind 500.000 Ladestationen geplant, womit jeder sechste Parkplatz elektrifiziert wäre (Laufmann 2009).

Ein Schlüsselement des Projektes ist die getrennte Betrachtung von Batterie und Auto. Wird die Batterie als herausnehmbare Einheit realisiert, lassen sich einige grundlegende Probleme angehen. Erstens, die Reichweite kann durch einen Batterietausch kurzfristig verlängert werden, zweitens, die teure Batterie muss nicht mehr vom Kunden gekauft, sondern kann geleast werden, drittens: sobald neue, leistungsfähigere Batterien auf den Markt kommen, können – Batteriestandards vorausgesetzt – auch Kunden mit älteren Elektrofahrzeugen hiervon profitieren (Agassi 2009).

Gesteuert wird das Ganze über eine intelligente Elektronik, die im Auto lokalisiert ist. Die Ladesäulen selbst werden aus Kostengründen möglichst simpel gehalten (ebd.). Die Software teilt dem Nutzer mit, wie viel Energie noch in der Batterie ist, wie viele Kilometer noch gefahren werden können, wo sich die nächste Ladestation befindet und sogar, ob diese gerade belegt oder frei ist (Laufmann 2009). Die Identifizierung des Fahrzeugs und die Abrechnung erfolgen automatisch per Software und Funkchip (Hillenbrand 2008).

---

<sup>39</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Better\\_Place](http://de.wikipedia.org/wiki/Better_Place); <http://www.betterplace.com>

Auch an den worst case ist gedacht worden: sollte der Wagen doch einmal komplett ohne Strom liegen bleiben, kommt ein Servicetechniker, welcher die Batterie wieder notdürftig auflädt (Laufmann 2009).

Neben der Aufladung an der Steckdose ist auch die Möglichkeit des Batteriewechsels (vgl. Kapitel 3.1.5) vorgesehen, um die Mobilitätsbedürfnisse von Über-Landfahrern/ Fernfahrern zu befriedigen (Anderson, Mathews, Rask 2009). Wird diese Infrastruktur realisiert, träte das Elektroauto aus seiner Rolle als reines Stadtauto heraus und würde eine stärkere Konkurrenz zum reinen Verbrennungsauto. Die Herausforderungen vor denen Better Place steht, sind vielfältig, Regierungen müssen überzeugt, Automobilhersteller für eine Standardisierung gewonnen und Kunden an das neue Nutzungsmodell mit der Bindung an einen Mobilitätsprovider gewöhnt werden. Für Dänemark, Israel und Australien ist der Markteintritt für Ende 2011 geplant. Kürzlich kündigte Better Place an, den Betrieb von BEV-Taxis in der Region San Francisco aufzubauen, mit Batteriewechselstationen als zentralem Baustein.<sup>40</sup> Dabei sollten eine hohe Sichtbarkeit und der Nachweis der routinemäßigen Einsetzbarkeit über Kurzstrecken hinaus dem Image von BEV zuträglich sein.

### Urban Commuter

Ein weiteres Mobilitätskonzept mit Elektrofahrzeugen, welches das „Problem der Reichweite“ angeht, wurde 2009 von der Schweizer Firma Rinspeed vorgestellt. Es handelt sich um einen elektrischen Zweisitzer, der als Pendlerfahrzeug gedacht ist, deshalb der Name des Projekts: „Urban Commuter“ (Rinspeed 2010). Das Auto soll per speziellem Waggon-System auf einen Eisenbahn-Zug verfrachtet und dort geladen werden können, womit längere Strecken bequem, stau- und stressfrei überbrückbar würden. Eine Verzahnung von individueller Mobilität und dem öffentlichen Verkehr soll gelingen, Buchung und Platzreservierung für die Spezialwaggons soll aus dem Fahrzeug heraus online erfolgen können. Die Erfinder betonen den Komfortfaktor von ihrem Konzept, da es dem Fahrer während der Zugreise möglich wäre, sich entweder im Zug aufzuhalten oder im Auto, welches mit Videokonferenz, E-Mail und vielem mehr ausgestattet sein soll. Neben der Fahrzeugvariante für den Pendler ist auch ein spezielles Kurierfahrzeug genannt „Unlimited Commuter“ geplant.

### Autovermietung

Auch Autovermietungen beginnen die Elektromobilität für sich zu entdecken. Seit Mai 2009 bietet Sixt in Partnerschaft mit RWE in Deutschland an wechselnden Standorten verschiedene Elektrofahrzeuge (Karabag 500 E und Micro-Vett Fiorino E) in einem Pilotprojekt zur Vermietung an (Keilerman 2010). RWE stellt dabei die Ladesäulen zur Verfügung. Weitere Anbieter haben angekündigt in Zukunft auch Elektrofahrzeuge in ihr Angebot zu integrieren, beispielsweise Hertz mit dem Nissan Leaf oder Avis mit verschiedenen Renault Z.E. Fahrzeugen ab 2011 (Baumann 2010; Avis & Renault 2010).

Noch sind viele, der eben vorgestellten Geschäftsmodelle Nischenprodukte oder nicht in Deutschland verfügbar (Better Place, Urban Commuter). Welche Geschäftsmodelle sich durchsetzen werden, hängt neben der Entwicklung von Technik und Preis der BEV, sicherlich auch davon ab, ob sich die Mobilitätsmuster verändern werden, oder nicht. BEV haben heutzutage eindeutig eine eingeschränktere und unflexiblere Nutzbarkeit als „normale“ Autos. Wird diese Tatsache aber von den Nutzern als Nachteil wahrgenommen oder kann im Gegenteil sogar die Entstehung einer neuen Mobilitätskultur begünstigen, in der das BEV nach und nach immer mehr das konventionelle Fahrzeug verdrängt und Fahrten auf andere Verkehrsträger verlagert werden oder sogar entfallen? Die heutige Vorstellung von Mobilität ist stark vom Auto und den Optionen, welche es eröffnet, geprägt.<sup>41</sup>

<sup>40</sup> <http://www.betterplace.com>

<sup>41</sup> Georg Wilke in (Wissenschaft im Dialog o.J.)

Selbst wenn es gelingt, Car-Sharing und den öffentlichen Verkehr flexibler und komfortabler zu gestalten bleibt die symbolische Besetzung des Automobils, die über dessen Funktion als Statussymbol hinausgeht.<sup>42</sup> Dazu gehört auch die hohe Bedeutung, die gerade deutsche Autonutzer (vgl. RolandBerger 2010), dem Besitz eines eigenen Autos zuweisen. Die Frage ist, ob und wann sich diese Rolle des eigenen Autos ändern wird. Wie oben erwähnt (Kapitel 3.2.1), scheint sich bei Jugendlichen eine pragmatischere Einstellung zur Mobilität zu entwickeln, bei der die symbolische Funktion des Autobesitzes an Bedeutung verliert. Nahe liegende Schlussfolgerung wäre, dass damit auch der Autobesitz weniger wichtig wird, und sich die Bereitschaft sich auf alternative Angebote einzulassen erhöht.

### 3.2.3 Sicherheit und Handhabung

Unter dem Aspekt der Sicherheit gibt es insbesondere bei der Batterie große Bedenken, sollte es zu einem Unfall oder Brand kommen. Der TÜV Süd beschreibt die Sicherheitsstandards für Lithium-Ionen-Batterien als lückenhaft und sieht erhöhten Handlungsbedarf in Sachen Normung von Crashtests und Prüfung (Härter 2009). So gebe es zwar Kriterien für Batterie-Crashtests hinsichtlich Brand- und Explosionsgefahr, toxische oder kanzerogene Stoffe seien jedoch nicht berücksichtigt. Des Weiteren werden Standards für den Verbau der Batterie gefordert und ein Heck-Crash für die Zulassung von Großserienfahrzeugen (die meisten Hersteller planen die Unterbringung der Batterie im Heck ein). Sie warnen vor den geringen Anforderungen, die an Kleinserienfahrzeuge gestellt werden und fordern internationale Sicherheitsstandards für alle Fahrzeuge.

Neben der Batteriesicherheit birgt die oftmals geringere Größe und das Gewicht, sowie die reduzierte Sicherheitsausstattung elektrischer Leichtfahrzeuge<sup>43</sup> (z.B. Twike, E-Scooter, Pedelecs usw.) ein Gefahrenpotential und schafft im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen ein Ungleichgewicht zwischen den Verkehrsteilnehmern, nicht unähnlich der Situation von Motorrädern. Benutzer von Leichtfahrzeugen berichten, dass sie sich ähnlich wie Fußgänger oder Radfahrer als relativ schwache Verkehrsteilnehmer empfinden (Knie et al. 1999). Die Begegnung von schweren Lkw und Elektrischen Leichtfahrzeugen auf ein und derselben Fahrspur wirft damit vergleichbare Fragen in punkto Sicherheit und Gesetzgebung auf, wie dies bei Elektrofahrrädern heute schon der Fall ist (siehe auch Box Kapitel 3.2.1 zu Elektrofahrrädern).

Neben den Sicherheitsrisiken im Auto wird auch das Thema Vandalismus in Bezug auf die öffentlichen Ladeeinrichtungen diskutiert. Da das Laden in der Öffentlichkeit im Normalfall nicht im Beisein des Fahrers stattfindet, eröffnen sich Möglichkeiten zur Beschädigung oder Manipulation von Stromquelle, der Verbindung zwischen Auto und derselben oder auch des Anschlusses am Auto selbst. Autohersteller und die Entwickler der Stromladeinfrastruktur scheinen das Thema im Blick zu haben, ob die bisherigen Konzepte sicher sind, die Entwickler alle Eventualitäten bedacht und entsprechende Vorkehrungen zum Schutz der Infrastruktur vor Sabotage und Zerstörung getroffen haben, wird aber erst die Zukunft zeigen.

Die technischen Veränderungen im Fahrzeug werden für die zukünftigen Nutzer das Erlernen neuer Bedienelemente und eine Anpassung des Fahrstils erfordern. Elektromotoren reagieren empfindlicher auf hochtouriges Fahren (VCÖ-Forschungsinstitut 2009) und die volle Beschleunigung steht bereits aus dem Stand heraus zur Verfügung. Nach einer kurzen Umstellphase werden diese Neuerungen vergleichbar der Umstellung zwischen Schalt- und Automatikgetriebe gut beherrschbar sein. Etwas anders sieht es mit der Umstellung des heutigen Tankvorgangs auf die Nachladung der Batterien per Kabel aus. Vergisst man abends das Kabel einzustecken oder kommt der Kontakt nicht richtig zustande kann dieser „Fehler“ nicht so schnell behoben werden.

---

<sup>42</sup> Georg Wilke in (Wissenschaft im Dialog o.J.)

<sup>43</sup> Definiert als Fahrzeuge mit einer Leermasse < 350 kg und einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h

Unter dem Gesichtspunkt der Handhabung ist zudem relevant, dass sich zwei grundsätzlich unterschiedliche Konzepte für die Ausgestaltung von Elektrofahrzeugen beobachten lassen. Zum einen die Fahrzeugkonzepte, die versuchen konventionelle Fahrzeuge weitgehend nachzubilden, zum anderen Konzepte, die sich äußerlich bewusst absetzen, meist extrem leicht und auch kleiner sind (Zweisitzer, Dreiräder...) und per se oftmals anderen Ansprüchen in punkto Komfort, Geschwindigkeit und Sicherheit genügen und dies auch so wollen (Knie et al. 1999). Wie Nutzer ihr Gefährt bewerten, hängt ganz entscheidend damit zusammen, welche „Fahrzeugphilosophie“ sie vertreten. Sehen sie das Elektrofahrzeug als konventionelles Auto an, welches „nur“ einen anderen Antrieb hat, oder gestehen sie ihm eine neue, eigene Identität zu und ziehen keinen direkten Vergleich zu den Leistungsmerkmalen der konventionellen Verbrennungsfahrzeuge. Neben dem schon erwähnten Aspekt des veränderten Fahrverhaltens ist vor allem die andere Wahrnehmung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ein Bereich, der Sicherheitsfragen aufwirft.

Hybrid- und Elektrofahrzeuge sind im Stand und bei niedrigen Geschwindigkeiten bis auf das Rollgeräusch praktisch lautlos. Diese Geräuscharmheit birgt Gefahren für den Fahrer (reduziertes Motorengeräusch verfälscht die Einschätzung wie schnell man selbst fährt, generell veränderte akustische Rückmeldung) und andere Verkehrsteilnehmer. Spielende Kinder können das Fahrzeug nicht wie gewohnt wahrnehmen und auch Fußgänger oder Radfahrer werden, wenn sie sich auf ihr Gehör verlassen, später von dessen Anwesenheit erfahren. Insbesondere für Blinde und Sehbehinderte, ältere Menschen, Kinder und unachtsame Fußgänger bestehen Sicherheitsbedenken. Mit der Tendenz zu immer leiser werdenden konventionellen Fahrzeugen kann sich diese Problematik auch auf die Fahrzeuggruppe der Verbrennungsfahrzeuge und Mopeds übertragen. Implikationen ergeben sich für die Verkehrserziehung von Kindern, aber auch für die Konditionierung der Gesellschaft insgesamt auf das „Verbrennergeräusch“ als akustisch wichtiges Signal zur Gefahrenerkennung im Straßenverkehr.

Die Frage, ob Hybrid- und Elektroautos tatsächlich ein erhöhtes Sicherheitsrisiko für andere Verkehrsteilnehmer darstellen, versucht ein Bericht der USA National Highway Traffic Safety Administration zu beantworten. Er kommt zu dem Schluss, dass Hybrid- und Elektroautos fast zweimal häufiger in Unfälle mit Radfahrern oder Fußgängern verwickelt sind als konventionelle Fahrzeuge (Thomas 2009). Untersucht wurden Eintrittswahrscheinlichkeiten von Fahrrad- und Fußgängerunfällen in Situationen mit niedrigen Geschwindigkeiten (Refaat 2009). Auch eine Studie der University of California (Robart, Rosenblum 2009) kommt zu dem Schluss, dass ein erheblicher Unterschied zwischen Autos mit Elektroantrieb und Verbrennungsmotor in punkto Hörbarkeit im Straßenverkehr besteht. In ihrer Studie konnte insbesondere die Richtung, aus der die Autos im Elektrobetrieb an die Testpersonen herankamen im Vergleich zu konventionellen Autos deutlich später wahrgenommen werden. Ein Ansatz, dass mit der Geräuscharmheit einhergehende Sicherheitsrisiko zu verringern, ist der Einsatz von künstlich hinzugefügten Geräuschen für Hybride und reine Elektroautos. Als notwendig erachtet wird dies nur unterhalb einer gewissen Geschwindigkeit von 20 km/h, andere Quellen gehen von 32 bis 40 km/h (u.a. Rosenblum 2008) aus. Oberhalb derselben werden Elektroautos wie konventionelle Fahrzeuge durch Nebengeräusche wie das Rollgeräusch oder den Fahrtwind deutlich wahrgenommen. An der Ausgestaltung des allgemein vorgeschlagenen Lösungsweges, die Sicherheit durch künstlich hinzugefügte Geräusche zu erhöhen, wird bereits von Autoherstellern (PSA Peugeot Citroen, Renault (Pearson 2010), Nissan, Toyota (Autoheise 2010)) und Forschern (Nyeste, Wogalter 2008) gearbeitet. Im neuen Nissan Leaf wird es einen eingebauten Sound, den sog. „Approaching Vehicle Sound for Pedestrians“ geben, welcher unterschiedliche Geräusche für Vorwärts- und Rückwärtsfahren aussendet (Motavalli 2010). Kritik kommt von der „National Federation of the Blind“ in den USA, da es dem Fahrer überlassen wird, das Geräusch ein- oder auszuschalten (ebd.).

Als Reaktion auf die geäußerten Sicherheitsbedenken, diskutieren verschiedene Länder auch über Gesetze und Richtlinien, um Elektroautos und Hybride für andere Verkehrsteilnehmer besser wahrnehmbar zu machen. Für die EU berichtet die Sunday Times, dass ein entsprechendes Gesetz bis 2012 geplant ist (Webster 2010). Die europäische Wirtschaftskommission (UN/ ECE) arbeitet an Richtlinien für Geräusch-

Minimalstandards in diesem Zusammenhang (Europäische Commission 2010; Pearson 2010). In den USA ist ein Gesetz in Arbeit, welches einen minimalen Geräuschpegel vorschreibt und in der „broader vehicle safety legislation“ untergebracht sein wird (Pearson 2010).

Insgesamt gibt es ein Dilemma zwischen den gesellschaftlich gewünschten Lärmreduzierungsmöglichkeiten, die das Elektroauto potentiell bietet, und den Gefahren, die mit dieser Lautlosigkeit einhergehen können.

Als letzter Aspekt zum Thema Sicherheit im Bereich der Elektromobilität soll der sensible Bereich des Datenschutzes erwähnt werden. Hier eröffnen sich, insbesondere auf Grund der Vernetzung von Fahrzeug, Stromabgabestelle und Netzbetreiber sowie eventuell dazwischen geschalteten Dienstleistern, Möglichkeiten, die Fülle von Informationen, welche ausgetauscht und gespeichert werden, auszuspionieren und nicht im Sinne des Nutzers zu verwenden. Um die Ausgestaltung des oft genannten „Internets der Energie“ datenschutzrechtlich und datengesichert zu gestalten, gibt es eine eigene Begleitforschung der Förderprojekte E-Energy und IKT für Elektromobilität (E-Energy 2010a).

### **3.2.4 Politische Rahmenbedingungen**

Die Politik hat eine Vielzahl von Möglichkeiten die Elektromobilität zu fördern. Neben gesetzlichen Vorgaben zu CO<sub>2</sub>-Emissionen sind dies Strafen, falls Grenzwerte nicht eingehalten werden, steuerliche Voroder Nachteile, die Förderung von Forschung und Entwicklung durch Forschungsprogramme, Besteuerung von Kraftstoffen, einmalige Subventionen beim Fahrzeugkauf und weitere Privilegien für Elektroautofahrer, wie spezielle Parkmöglichkeiten, vergünstigte Auflademöglichkeiten, Befreiung von City-Maut und die Erlaubnis besondere Fahrstreifen zu nutzen. Solche Anreizmaßnahmen und elektromobilitätsfreundliche Rahmenbedingungen könnten ein wichtiger Schritt sein, um sowohl die Akzeptanz von Elektromobilität in der Bevölkerung als auch die Marktdurchdringung zu erhöhen.

Die Europäische Union veröffentlichte am 23. April 2009 neue Emissionsnormen für Personenkraftwagen. Darin wurde festgelegt, den Grenzwert im gesamten deutschen Flottendurchschnitt bei Neuwagen bis 2012 auf 130 g CO<sub>2</sub>/km zu senken (Umweltbundesamt 2009). Die Einführung erfolgt gestaffelt mit einer schrittweisen Erhöhung des Prozentsatzes der Neuwagenflotte, welche den Grenzwert einhalten muss, bis zum Jahre 2015. Festgelegt sind außerdem Strafzahlungen, welche, pro Gramm CO<sub>2</sub> über dem Grenzwert und pro verkauftes Auto, von den Autoherstellern zu entrichten sind. Kritisiert wird, dass die Strafzahlungen zu gering sind und nicht alle Fahrzeuge aus der Flotte in die Berechnung eingehen (ebd.).

### **Förderung von Forschung und Entwicklung**

Das Thema Elektromobilität wird in Deutschland von Seiten des Bundes, insbesondere durch den „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“, angegangen. Gemeinsam mit dem Thema der Erneuerbaren Energien ist das Thema im „Integrierten Energie- und Klimaprogramm“ (IEKP) verankert und in den Ressorts des BMWi, BMVBS, BMU und BMBF untergebracht (Die Bundesregierung 2009). Der Nationale Entwicklungsplan ist auf zehn Jahre angelegt und soll den Rahmen für Forschung, Technologieentwicklung und die geplante Markteinführung von Plug-In-Hybriden und BEVs in Deutschland stecken.

Erste konkrete Ziele für die Marktdurchdringung der Elektromobilität wurden von der Bundesregierung 2007 im IEKP formuliert (Die Bundesregierung 2007). Zielvorgabe ist es, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge in Deutschland zu haben, deren Strombedarf durch Erneuerbare Energien gedeckt werden soll. Gleichzeitig soll die Elektromobilität zur besseren Integration der fluktuierenden EE beitragen, indem die Batterien in Fahrzeugen als Zwischenspeicher für Phasen, in denen die regenerative Stromproduktion den Bedarf übersteigt, zur Verfügung stehen (Die Bundesregierung 2008).

Deutschland möchte die starke Rolle seiner Automobilindustrie auch bei neuen Antriebstechnologien beibehalten und wenn möglich ausbauen. Von Seiten der Politik wird dies durch die Forderung: „Deutschland soll zum Leitmarkt für die Elektromobilität werden“ ausgedrückt (ebd.). Neben der reinen Technologieentwicklung sollen neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen entwickelt werden und eine Stadt- und Raumplanung im Kontext der Elektromobilität entstehen.

Zur Umsetzung der genannten Ziele werden verschiedene Fördermaßnahmen aus Mitteln des Konjunkturpaketes II finanziert. Neben dem schon erwähnten Förderschwerpunkt „Intelligente Netze, erneuerbare Energien und Elektromobilität“ mit dem Focus auf IKT ist dies vor allem das Förderprogramm „Modellregionen Elektromobilität“ des BMVBS. Hier werden insgesamt 8 Regionen in Deutschland von 2009 bis 2011 mit ca. 115 Millionen Euro vom Bund gefördert (BMVBS 2010). Im Vordergrund der Programme steht die praktische Umsetzung der Elektromobilität im Alltag unter realen Bedingungen.

Die Verknüpfung der Elektromobilität mit dem Energiebereich wird explizit im „E-Energy“ Förderprogramm des BMWi und BMU adressiert. In sechs ausgewählten Modellprojekten wird an einem „Internet der Energien“ gearbeitet. Mit Hilfe von IKT sollen intelligente Energiesysteme entwickelt werden, die Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit miteinander vereinbaren (E-Energy 2010b). Die Elektromobilität ist hier insofern wichtig, da sie als Möglichkeit zur Zwischenspeicherung von Energie angesehen wird (Sovacool, Hirsh 2009).

Neben den gerade erwähnten Maßnahmen zur Forschungs- und Entwicklungsförderung, sind viele weitere Anreize denkbar, welche die Marktdurchdringung von EVs beschleunigen könnten. Eine häufig genannte Forderung an die Politik ist es, steuerliche Vergünstigungen oder Subventionen für den Autokauf bereitzustellen.

### **Subventionen & Steuern**

Viele Länder subventionieren bereits den Kauf von Elektrofahrzeugen. In Frankreich sind bis 2020 Kaufsubventionen von 5000 € pro Auto, eine kostenlose Zulassung des Autos und vergünstigte nächtliche Ladegebühren geplant (Bain & Company 2010). In Oslo werden nicht nur Kauf und Unterhalt vom Staat gefördert (Neuwagen- und Mehrwertsteuer entfallen, keine Kfz-Steuer); Elektroautos genießen auch anderweitige Privilegien im Alltag. Sie dürfen auf öffentlichen Parkplätzen kostenlos parken, sind von der City-Maut befreit und dürfen auf der Busspur fahren, was ihnen tägliche Staus im Berufsverkehr erspart (Krohn 2009). Einen Überblick über staatliche Förderung beim Kauf von Elektroautos weltweit gibt Bünnagel (2009).

In Deutschland sind Elektrofahrzeuge momentan für die ersten fünf Jahre nach Zulassung von der Kraftfahrzeugsteuer befreit, anschließend wird eine Besteuerung nach Fahrzeuggewicht vorgenommen. Andere Privilegien sind im Gespräch und werden sicherlich im Einzelfall in Pilotprojekten auch gewährt, sind aber nicht flächendeckend umgesetzt oder festgeschrieben.

Neben staatlicher Förderung auf Verbraucherseite kann der Staat auch selbst aktiv werden und durch den systematischen Einbau von Elektrofahrzeugen in die eigenen Fuhrparks ein Zeichen setzen, sowie zur Nachfrageförderung beitragen. Flottenfahrzeuge profitieren allgemein aufgrund ihrer relativ hohen Kilometerleistung von den niedrigeren Energiekosten oftmals stärker als private Pkw und haben daher, über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, trotz des vergleichsweise hohen Anschaffungspreises das Potential, früher rentabel zu werden (Kolloosche, Schulz-Montag, Steinmüller 2010).

Zur Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen im Flottenbetrieb berichtet Technomar in Auszügen aus einer Studie von Barkawi Management Consultants. In ihr wird der Flottenbetrieb von Elektrofahrzeugen im Kurierbetrieb simuliert (Erfolg! 2010). Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass eine anfängliche Kostenersparnis von 1417 € pro Jahr gegenüber einem Dieselfahrzeug existiert. Diese Kostenersparnis kann, auf-

addiert im Lauf der Jahre, eine Kaufpreisdifferenz von ungefähr 9500 € ausgleichen. Dadurch ist laut Aussage der Studie ein Betrieb zu identischen Kosten „ab einer Anschaffung im Jahr 2014/ 2015 mit dem gegebenen Lastprofil unter Berücksichtigung der Kaufpreisdifferenz möglich.“ Darin sind noch nicht potentielle Förderbeträge in der Anschaffung, komplette Kfz-Steuer-Befreiung und Vorteile aus dem CO<sub>2</sub>-Emissionshandel berücksichtigt.

Nicht nur steuerliche Anreize und Kaufsubventionen sind im Gespräch, auch Belastungen, um die erwarteten Ausfälle der Mineralölsteuer zu kompensieren. Hierzu wird eine Art Strom- oder Ladestromsteuer diskutiert. Ob, in welcher Form und ab wann, diese kommen könnte, dazu gibt es bisher keine Aussage der Bundesregierung. Das Thema wird kontrovers diskutiert. Der bayerische Umweltminister Söder fordert beispielsweise in einem Strategiepapier zur Elektromobilität „eine vollständige und unbefristete“ Steuerbefreiung für Elektroautos und einen Erlass der Kfz-Steuer (dpa 2010). Auch das Deutsche Verkehrsforum (2009) spricht sich in seinem Positionspapier zur Elektromobilität ausdrücklich gegen eine zusätzliche Besteuerung für Ladestrom aus. Eventuelle Prämien als Kaufanreiz sieht es nur vorübergehend als sinnvoll an und plädiert für bessere Abschreibemöglichkeiten im gewerblichen Bereich. Eine deutsch-französische Arbeitsgruppe aus Verbänden, OEMs, Ministerien und Energiekonzernen spricht sich in ihrem Positionspapier „Results of discussions of the French-German working group on infrastructure“ vom Februar 2010 ebenfalls gegen eine Fahrstromsteuer aus (BMW 2009). Das Papier wendet sich zwar gegen eine Besteuerung des Stromes, behandelt aber gleichzeitig das Thema Internationales Roaming als Geschäftsmodell und sieht dieses als notwendig an. Damit würde den Energiekonzernen die Möglichkeit eröffnet, ähnlich wie im Mobilfunksektor, erhöhte Preise von Kunden, die von anderen Anbietern kommen, einfordern zu können.

### 3.2.5 Umweltauswirkungen

Elektromobilität wird nicht zuletzt wegen ihrer erhofften positiven Auswirkung auf das Klima und die menschliche Gesundheit von Vielen als erwünschte und förderungswürdige Technologie eingestuft. Die Bundesregierung sieht in ihr das Potential, sowohl den Treibhauseffekt zu verringern und damit dem Klimaschutz zu dienen, also auch lokal die Umwelt von Schadstoffen, Feinstaub und Lärm zu befreien (Die Bundesregierung 2009). Die Möglichkeit des lokal CO<sub>2</sub>-freien Fahrens durch die Nutzung von elektrischen Antrieben erscheint insbesondere vor den hochgesteckten Zielen zum Klimaschutz der EU, aber auch des Weltklimarates (Europäische Kommission 2007), welche einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf zwei Grad Celsius im Vergleich zu vorindustrieller Zeit vorsehen, interessant.

#### Emissionen & Feinstaub

Da der Verkehrssektor einen erheblichen Anteil an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen hat – in Deutschland sind es für den Pkw-Verkehr Anteil alleine über 12 % (McKinsey & Company 2010) – und mit einer Optimierung des Verbrennungsmotors alleine die angestrebten Ziele nicht erreichbar scheinen, ist ein Einsatz von Fahrzeugen mit emissionsärmeren Antrieben unabdingbar.

Das Potential zur Verringerung der CO<sub>2</sub>- und anderer Emissionen ist also eines der Hauptargumente für die Förderung und den verstärkten Ausbau der Elektromobilität. Ob Elektrofahrzeuge aber tatsächlich insgesamt weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen als konventionelle Fahrzeuge, ist somit von entscheidender Bedeutung und wird konträr diskutiert. Während Wolfgang Lohbeck (Verkehrsexperte bei Greenpeace) in einem ZEIT-Artikel vom 27.08.2010 (Lohbeck 2010) äußert, dass Elektroautos „heute und auf lange Sicht [...] via Kraftwerk nicht weniger, sondern mehr CO<sub>2</sub> als ein vergleichbares Auto mit Verbrennungsmotor nach dem aktuellen Stand der Technik“ emittieren, kommt eine Studie der Universität Stuttgart zu einem gegenteiligen Ergebnis. Laut der Stuttgarter Studie „Entwicklungsstand und Perspektiven der Elektromobilität“ weisen Elektrofahrzeuge schon heute geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen auf als vergleichbare Referenzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor und Benzin als Treibstoff. Dieser positive Trend kann sich zukünftig

durch eine angenommene Reduzierung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Stromherstellung noch verbessern. Dabei ist zu bedenken, dass auch bei konventionellen Verbrennungsmotoren noch Effizienzsteigerungen erwartet werden können.

Im Detail:

Die Studie der Universität Stuttgart untersucht die Well to Tank-(Emissionen die bei der Kraftstoffbereitstellung anfallen) und Tank to Wheel-(beim Kraftstoffverbrauch) CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener elektrischer und hybrider Antriebskonzepte im Vergleich zu konventionellen Referenzfahrzeugen (Blesl et al. 2010). Drei verschiedene Nutzertypen mit jeweils unterschiedlichen Fahranteilen Innerorts, Außerorts und täglichen Wegstrecken wurden dabei miteinander verglichen.

Folgende Ergebnisse werden vermittelt:

Erstens: Die Well to Tank-CO<sub>2</sub>-Emissionen hängen stark vom Produktionspfad der Stromproduktion ab. Wird dieser aus Erneuerbaren Energien gewonnen, fallen fast keine Well to Tank-Emissionen an, sind es fossile Energieträger sieht das Ergebnis deutlich schlechter aus. Für die Analyse wurde der deutsche Strommix des Jahres 2007 nach UBA (2009) angenommen.

Zweitens: Schon heute sind die Well to Wheel-CO<sub>2</sub>-Emissionen im Kleinwagenbereich unabhängig vom Nutzerprofil für alle alternativen Antriebskonzepte (BEV, HEV, PHEV und FCEV) geringer als diejenigen der Referenz-Benzinfahrzeuge, am kleinsten bei den BEVs und PHEVs. Das gleiche Muster für die Well to Wheel-Emissionen belegt die Studie auch für das Mittelklassesegment mit absolut gesehen höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die Studie Blick macht auch eine Schätzung für das Jahr 2030 und nimmt dafür die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionswerte für Stromerzeugung an, die im Rahmen der Studie „Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit herausgegeben werden (BMW 2005). Demnach verringern sich die Emissionen der Referenzfahrzeuge aufgrund von sinkendem Kraftstoffverbrauch, die mit Abstand größte Reduktion bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen ist aber bei den BEVs zu finden. Der Grund hierfür ist vor allem die angenommene Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der deutschen Stromerzeugung von heute 173,3 kg/GJ auf 80,4 kg/GJ im Jahr 2030 (Blesl et al. 2010). Hiervon profitieren die BEVs am stärksten, aber auch die PHEVs, wobei hier nur der Fahranteil im elektrischen Modus betroffen ist.

Neben den CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen beim Verbrennungsprozess auch weitere unerwünschte Nebenprodukte wie Stickoxide. Sie sind für die menschliche Gesundheit schädlich und beeinträchtigen die Lungenfunktion, spielen aber auch bei der Versauerung und Eutrophierung von Gewässern und Böden eine Rolle (VCÖ-Forschungsinstitut 2009). Diese Emissionen fallen bei Elektrofahrzeugen im Betrieb weg und werden vor allem nicht wie bei konventionellen Autos, in unmittelbarer Nähe zum Menschen abgegeben.

Eine weitere Umweltbelastung, die man durch die Elektromobilität verringern möchte, ist der Feinstaub. Hier erhofft man sich eine deutliche Entlastung geplagter Innenstadtbereiche. Lediglich der Reifenabrieb, der immerhin noch mit durchschnittlich knapp 5 % zu den gesamten Feinstaubemissionen im PM<sub>10</sub><sup>44</sup> Bereich beiträgt, kann nicht auf diese Weise reduziert werden (Rosenow 2008). Grundsätzlich sind Elektro-

<sup>44</sup> PM<sub>10</sub> bezeichnet die Masse aller im Gesamtstaub enthaltenen Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 µm ist



fahrzeuge damit gut geeignet, den Liefer- und Individualverkehr in Innenstadtbereichen abzudecken, wo aus Umweltschutzgründen schon heute andere Fahrzeuge ausgeschlossen sind.

Die Umweltauswirkungen von Elektroautos und ihre Energiebilanz hängen nicht nur von deren Herstellung, dem verwendeten Strommix und den nachgeordneten Recyclingprozessen ab (siehe Kapitel 3.2.6), sondern auch von deren Einsatz bzw. welche anderen Verkehrsmittel durch sie substituiert werden. Wird beispielsweise ein Elektroleichtfahrzeug als Fahrradersatz genutzt, steigt der Energieverbrauch, wird ein Elektroauto anstatt eines konventionellen Autos eingesetzt, eröffnet sich Potential zur Reduktion von Emissionen und Energieverbrauch im motorisierten Individualverkehr (Knie et al. 1999). Elektromobilität bedeutet also nicht grundsätzlich weniger Emissionen und weniger Energieverbrauch. Es besteht auch die Gefahr, dass aufgrund der niedrigen Grenzkosten und des „grünen Images“ Verbraucher verstärkt auf das Autofahren mit BEVs umsteigen könnten. Des Weiteren könnte der Druck auf Politik und Hersteller sinken, die Effizienzsteigerung der konventionellen Fahrzeuge voranzutreiben und das Verkehrssystem insgesamt neu zu strukturieren.

### 3.2.6 Rohstoffe und Recycling

Für die heutige Batterietechnologie spielt Lithium als Basismaterial eine herausragende Rolle (Angerer et al. 2009), da Lithium-Ionen-Batterien derzeit aufgrund von Größen und Gewichtsvorteilen, aber auch Lebensdauer und Zyklenfestigkeit (VCÖ-Forschungsinstitut 2009), die Nickel-Metallhydrid-Batterien verdrängen. Die Frage nach der Verfügbarkeit von Lithium ist daher von entscheidender Bedeutung (Angerer et al. 2009). Ein Großteil der bekannten Lithiumreserven (84 %) liegen in Südamerika, etwa zwei Fünftel davon in Bolivien (VCÖ-Forschungsinstitut 2009). Bolivien fördert derzeit kein Lithium und fällt deswegen zurzeit als Rohstoffquelle aus. Die Regierung hat jedoch angekündigt, es ab 2013 abzubauen, allerdings im Alleingang ohne Einbezug der Privatwirtschaft (Deutsche Bank 2008). Würde Bolivien seine Lithiumreserven weiterhin nicht zur Verfügung stellen, könnte nach Kalkulationen der Deutschen Bank schon 2017 die Nachfrage an die angenommene maximale jährliche Förderkapazität von 200.000 Tonnen stoßen (ebd.). Es wird aber davon ausgegangen, dass ein steigender Rohstoffpreis für Lithium die Entdeckung neuer Rohstoffvorkommen und die Entwicklung neuer Technologien zur Lithiumgewinnung fördern wird. Aufgrund dessen und unter Einbezug eines angenommenen zukünftigen großflächigen Batterierecyclings geht die Deutsche Bank davon aus, dass Lithium langfristig als Rohstoffquelle für die Automobilindustrie zur Verfügung stehen wird.

Auch nach einer Studie des Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) ist bis 2050 unter Einbeziehung der Bedarfsentwicklung auf dem Fahrzeugbatteriemarkt, welche mittels zweier Marktpenetrationsszenarien berechnet wurde, und der Verknüpfung mit Sammel- und Recyclingquoten nicht mit einem Engpass der Lithiumreserven zu rechnen (Angerer et al. 2009).

Vor dem Hintergrund der begrenzten Rohstoffverfügbarkeit, aber auch zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Elektromobilität, stellt sich die Frage nach dem Recycling. Welche Teile sollen recycelt werden, sind die Verfahren hierfür vorhanden und werden sie bereits angewandt? Bisher liegt der Schwerpunkt auf dem Recycling der Lithium-Ionen-Batterien und hier insbesondere auf der Rückgewinnung von Kobalt, Nickel und Kupfer (GRS Batterien 2007). Lithium-Ionen-Batterien von Elektro- und Hybridfahrzeugen enthalten eine nicht unerhebliche Menge von 2 bis 6 kg Lithium je nach Batteriekapazität (Angerer et al. 2009). Zu deren Recycling wären Sammelkonzepte vergleichbar dem der heutigen Starterbatterien denkbar. Das Recycling von Lithium-Batterien an sich befindet sich derzeit noch in einem recht frühen Stadium, zwar werden bereits Lithium-haltige Batterien z.B. in Belgien von der Firma Umicore recycelt, hier steht bisher allerdings erst die Rückgewinnung von Kobalt, Nickel und Kupfer an. Eine Erweiterung auf Lithium ist geplant, das Verfahren hierzu ist aber noch in der Entwicklung (Umicore 2009). Bisher ist

nur die Firma Toxco Inc. aus Kanada in der Lage, im kommerziellen Stil Lithium-Batterien mit Rückgewinnung von Lithium zu recyceln (Toxco 2003).

Handlungsbedarf ist von Rechtswegen auch dadurch notwendig, dass laut der EU-Richtlinie 66/2006 eine bestimmte Quote in der Sammlung und Rückführung von Altbatterien eingehalten werden muss.<sup>45</sup> Derzeit steht allerdings kein Verwertungsweg, der diesen Ansprüchen genügen würde, zur Verfügung (BMU 2006). Für Deutschland sieht das BMU das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien aus dem Fahrzeugbereich in einem frühen Entwicklungsstadium und fördert das Batterierecycling unter den Förderschwerpunkt Elektromobilität (BMU 2009). Das Projekt nennt sich LithoRec, ist ein Verbundprojekt von zehn Industriepartnern und sechs Hochschulinstituten und wird von 2009 bis 2011 mit insgesamt 8,4 Mio. Euro vom BMU gefördert. Zwar existieren heute bereits etablierte Lösungen für kleinere Batterien aus Handys, Laptops etc., aber keine Strukturen für Traktionsbatterien. Vor dem Hintergrund der angenommenen starken Zunahme von gealterten Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen, widmet sich das Projekt möglichen Rücknahme- und Recyclingkonzepten. Ein Schwerpunkt ist die Rückgewinnung von Lithium und Kobalt und ihre Rückführung als Sekundärrohstoff in die Herstellung neuer Batterien (Bärwaldt o.J.).

---

<sup>45</sup> VDI/VDE/IT Projekthomepage LiBRi

## 4 Offene ITA-Fragestellungen

Im vorhergehenden Kapitel wurden die wesentlichen technischen Entwicklungen, die vorhandenen und antizipierten sozio-ökonomischen Wechselwirkungen, sowie der Stand des Wissens im jeweiligen Bereich dargestellt. Dabei sind bereits an vielen Stellen offene Fragen und weiterer Forschungsbedarf angesprochen worden. Diese offenen Fragen und der jeweilige Forschungsbedarf sollen in diesem Kapitel in komprimierter Form, gegliedert nach verschiedenen technischen und nicht-technischen Aspekten, skizziert werden.

### 4.1 Technik und Infrastruktur

Offen bleibt bisher, wie sich Technik und Infrastruktur weiter entwickeln, welche Entwicklungen für wen wünschenswert wären und welche als realistisch erachtet werden. Aus technischer Sicht gibt es mehrere Möglichkeiten, die Ladung der Batterie vorzunehmen. Je nachdem, welche Art der Aufladung (Laden per Kabel oder Induktion, Batterietausch) betrachtet wird, ergeben sich unterschiedliche Sicherheitsrisiken, Eignung zur Integration in Smart Grids, Implikationen für die Batterielebensdauer, Normung, Geschäftsmodelle, sowie Spielräume bzw. Einschränkungen für die Automobilhersteller. Im Folgenden werden einige Fragen hervorgehoben, denen besondere Bedeutung zukommt:

- Welche Antriebe werden sich mittelfristig durchsetzen; eher Hybridtechnik oder rein batteriebetriebene Fahrzeuge; Wird sich eine Koexistenz verschiedener Antriebstechnologien etablieren?
- Welche Entwicklungspotentiale lassen sich im Bereich der Batterieentwicklung identifizieren; Wo muss eine effektive Forschungsförderung ansetzen? Welche Akteure müssen einbezogen werden, welche Kooperationen sind erforderlich? Wie wahrscheinlich ist es, dass die Energiedichte der Batterien weiterhin steigt (um durchschnittlich ca. 5 %/Jahr wie bisher)?; Wie würde sich das auf die Nutzerakzeptanz und Marktdurchdringung auswirken?
- Welcher Fortschritt lässt sich bei der Reduktion der Ladezeit erzielen? Welche Technologien kommen wo zum Einsatz? Wie sieht es mit Ladepunkten im öffentlichen Raum aus? Welche Betreiberkonzepte und Geschäftsmodelle kommen für den Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur in Frage? Welche Möglichkeiten bietet das kontaktlose Laden über Induktionsschleifen im öffentlichen Raum?
- Bei den Batterietauschkonzepten wird die Batterie nicht mehr über ihre gesamte Nutzungsdauer einem Fahrzeug zugeordnet, sondern vielmehr zwischen den Fahrzeugen gewechselt. Wichtige Frage wäre, ob sich hier einheitliche, herstellerübergreifende Standards formulieren lassen? Weiter wäre zu klären, wer für die Qualität und den Ladungszustand der Batterien garantiert? Letzteres führt wieder zu der Frage nach möglichen Betreiberkonzepten und Geschäftsmodellen.
- Damit der Kunde möglichst einfach alle Ladeinfrastrukturen nutzen kann, ist es entscheidend, die Standardisierung der beteiligten Komponenten (Stecker, Batterien...) voran zu treiben. Das betrifft auch die sehr grundsätzliche Frage, wo die Messung der Stromabnahme stattfindet: im Automobil oder in der Ladestation? Da hierbei noch keine Einigkeit besteht, ist die Frage, wo die Hürden liegen und welche Akteure sich sperren. Parallel betriebene Insellösungen technischer Natur reduzieren die Effektivität von Ladestationen verschiedener Betreiber und verschiedener Geschäftsmodelle. Inwieweit lassen sich hier negative Einflüsse auf das Marktgeschehen vermeiden?
- Welche Effekte werden bei den heutigen Automobilherstellern in Deutschland erwartet, werden sie sich umorientieren bzw. den technischen Vorsprung zu Asien schnell aufholen können?

Noch ist ungewiss, welche der angesprochenen Ladetechniken sich durchsetzen werden und wer in Zukunft die Infrastrukturbereitstellung für die Elektromobilität übernehmen wird. Viele Akteure sind hier aktiv, neben den Automobilherstellern vor allem die Energiekonzerne, der Staat und neuerdings eigens hierfür

gegründete Organisationen und Unternehmen. Interessant wird sein, wer sich zum Mobilitätsdienstleister entwickelt und ob hierfür bestehende Akteure verstärkt Kooperationen eingehen wie heute schon Daimler mit RWE oder BMW mit EON (siehe Tabelle 2 im Anhang).

In der öffentlichen Diskussion wird häufig die Bedeutung der Automobil-Traktionsbatterien als geeignete Energiespeicher für ein „intelligentes Stromnetz“ herausgestellt. Das scheint naheliegend, denn Batterien dieser Kapazität gibt es derzeit nicht in Haushalten und die Energieversorger – im Gegensatz z.B. zu Japan – haben bisher kein Interesse an zentral installierten Energiespeichern. Wenn aber schon dezentrale Energiespeicher in Elektro-Pkw gewünscht sind, haben diese den Nachteil, dass die Automotive-Batterien teurer sind als solche, die im Haus selbst installiert wären – Automotive-Batterien benötigen ein spezielles Packaging, um bei Verkehrsunfällen intakt zu bleiben, und eine ausgeklügelte Temperaturanpassung an die Umgebungstemperatur, in einem weit größeren Außentemperatur-Bereich als in einem Gebäudekeller. Dies alles erhöht die Kosten einer Elektroauto-Traktionsbatterie bedeutend. Daraus folgt die Frage, ob sich Automotive-Batterien überhaupt und in welchen Geschäftsmodellen als Energiespeicher in intelligenten Stromnetzen amortisieren.

## 4.2 Einfluss auf Wirtschaftsstruktur und Ausbildung

Die Herstellung von Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben fügt sich nicht ohne weiteres in die etablierten Strukturen der Automobilhersteller und Zulieferer. Es stellt sich die Frage, welche Veränderungen hier stattfinden werden. Ein gravierender Strukturwandel ist im Gange und die „Claims“ für zukünftige Wertschöpfung werden abgesteckt. Gegenwärtig gehen diverse Experten davon aus, dass ein wesentlicher Anteil der Wertschöpfung an die Zulieferer für Batterien und IKT gehen wird, sowie an die Anbieter der Ladeinfrastruktur. Damit bleibt weniger für die Automobilhersteller übrig, die versuchen, sich in die letztgenannten Bereiche auszudehnen. Beispiele hierfür sind Daimler mit eigener Batterieherstellung oder Peugeot als Mobilitätsdienstleister (siehe Tabelle 2 im Anhang).

Autos müssen nicht nur hergestellt, sondern auch von geschultem Personal gewartet und repariert werden können. Wie sehr dieser letzte Aspekt noch zu berücksichtigen ist, verdeutlicht eine Umfrage des TÜV Süd bei Autohäusern und Kfz-Werkstätten in Deutschland.<sup>46</sup> Demnach hat ein Großteil der Werkstätten keinerlei praktische Erfahrung oder Schulung im Umgang mit Hybrid- und Elektrofahrzeugen, nur die befragten Toyota-Werkstätten bilden hier eine Ausnahme. Auch für die nahe Zukunft gab nur eine Minderheit nach dieser Befragung an, ihr Personal schulen lassen zu wollen. Besorgniserregend vor diesem Hintergrund ist, dass mehr als ein Fünftel der Werkstätten trotzdem bereit wäre, auch ohne Schulung ein Elektroauto zu reparieren. Der Grund liegt unter anderem darin, dass die meisten Befragten das Risiko im Umgang mit dem Elektroauto als deutlich geringer im Vergleich zu normalen Autos ansehen. Das Risiko von möglicherweise tödlichen Stromschlägen und Batteriebränden wurde nur von wenigen wahrgenommen. Das sind zu berücksichtigende Ergebnisse, bedenkt man, dass diese Batterien im Hochspannungsbereich arbeiten und ihr Umgang Spezialwissen erfordert (Der Tagesspiegel 2010).

## 4.3 Entwicklung von Präferenzen und Mobilitätsmustern

In Kapitel 3.2.1 sind bereits mehrere wichtige Einflussfaktoren auf Kaufentscheidung und Mobilitätsmuster angeführt worden. Dabei sind offene Fragen genannt worden, allen voran, diejenige, ob und wie viel die Nutzer bereit sind, für Elektromobilität zu bezahlen. Bisher ist unklar, wie sich die bisher ver-

<sup>46</sup> [http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1270791259013646480118/4\\_TUV\\_SUD\\_AMI2010\\_Auswertung%20E-Auto-Werkstaettenenumfrage%202010.pdf](http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1270791259013646480118/4_TUV_SUD_AMI2010_Auswertung%20E-Auto-Werkstaettenenumfrage%202010.pdf), 29.09.2010

gleichsweise hohen Anschaffungs- und Unterhaltskosten entwickeln werden. Offene Fragen zum Thema Kaufentscheidung sind:

- Wie entwickelt sich die Preislücke zwischen herkömmlichen Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor und BEV? Unter welchen Gegebenheiten sind potentielle Kunden bereit zu kaufen?
- Welche Rolle spielen externe Faktoren z.B. ein Schwanken des Ölpreises auf die Total Cost of Ownership? Kann ein sprunghafter Anstieg des Ölpreises zu einem plötzlichen „Run“ auf Elektrofahrzeuge führen?
- In welcher Form und mit welchen Mitteln können Ingenieure und andere Experten im Unternehmen die Präferenzen der Kunden adäquat einschätzen und bewerten?

Batteriebetriebene Fahrzeuge, die nicht über einen Range Extender verfügen, werden nach heutiger Einschätzung in absehbarer Zeit nicht die Reichweiten von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren erreichen. Wichtige Frage für die Marktdurchdringung in den nächsten Jahren ist demnach, wie diese technischen „Settings“ zu den etablierten Mobilitätsmustern passen. Werden die Mobilitätsmuster sich, zumindest bis zu einem gewissen Grad, auf das neue Technik-Infrastruktur-System E-Mobilität einstellen? Werden Range Extender die Übergangsphase dominieren? Sind hier modulare Lösungen vorstellbar, wie z.B. ein kleiner Verbrennungsmotor der, je nach aktuellem Bedarf, über eine (genormte) Schnittstelle angeschlossen oder abgenommen werden kann?

Nach wie vor ist der Automobilbesitz stark emotional geprägt und spielt in vielen gesellschaftlichen Gruppen als Statussymbol eine wichtige Rolle. Die Präferenzen der jungen Generation deuten hier vor allem in urbanen Räumen, auf einen Wertewandel hin. „Jüngere“ scheinen sich stärker über Handys, MP3-Player und andere Unterhaltungselektronik zu identifizieren. Verstärkt sich dieser Trend und überträgt sich auch auf das Elektroauto könnten Geschäftsmodelle, die nicht den Automobilbesitz beim Privatkunden sehen, davon profitieren. Generell gibt es viele Anzeichen, dass die Elektromobilität mit neuen Geschäftsmodellen einhergeht, wie beispielsweise dem Car-Sharing, welches dem Reichweitenproblem einen Pool an Fahrzeugen mit unterschiedlichen Fahrzeugkonzepten entgegen stellen kann. Andere Ideen sind Batterien, ähnlich wie bei Mobilfunkverträgen, zur Nutzung anzubieten und nicht mit dem Auto zu verkaufen. Hier verbinden sich zahlreiche offene Fragen, die entscheidend für die zukünftige Ausprägung der Elektromobilität werden könnten:

- Welche Geschäftsmodelle sind denkbar und unter welchen Bedingungen wirtschaftlich? Mit welchen Technologien und mit welchem Nutzerverhalten sind sie verbunden, wo sind die Zielgruppen?
- Welchen Einfluss haben neue Geschäftsmodelle auf die Technikentwicklung (z.B. Austausch von Batterien, Design der Fahrzeuge etc.)?
- Wie sieht die weitere Entwicklung der jungen Generation zum Thema Automobilbesitz und Auto als mögliches Statussymbol aus? Was bedeutet dies für die Geschäftsmodelle und Mobilitätsmuster? Sind die „Jüngeren“ offener für eine flexible, verkehrsträgerübergreifende Mobilität als die „Älteren“? Wenn ja, bleibt das so oder ändert sich das in späteren Lebensphasen?
- Wie wirkt sich die Alterung der Gesellschaft auf die Entwicklung der Elektromobilität aus?

#### **4.4 Fördermöglichkeiten und politische Rahmenbedingungen**

Die Frage, ob und an welchen Stellen die Politik mit Anreizen und Fördermitteln in die Entwicklung der Elektromobilität eingreifen soll, ist keineswegs unumstritten. Folgende Fragen werden in diesem Kontext diskutiert und bieten sich für eine Weiterverfolgung an:

- Wo soll gefördert werden? Bei der Entwicklung und Demonstration von Technik und Infrastruktur; bei Entwicklung von Geschäftsmodellen? Soll der Anschaffungspreis der Fahrzeuge über Fördermittel „künstlich“ gesenkt werden, um eine schnellere Marktdurchdringung, höhere Produktionszahlen, und damit Skaleneffekte zu erreichen?
- Wie lassen sich die bereits aufgelegten Förderprogramme ergänzen und erweitern?
- Mittelfristig würde zu diskutieren sein, wie Ausfälle aus der Mineralölsteuer zu kompensieren sind.
- „Vehicle-to-grid“-Ansätze lassen sich kaum mit der heutigen Situation der zentralistischen Stromerzeugung und -verteilung vereinen, zudem sind Energiemärkte und ihre Regulierung weitgehend europäisiert. Welche Einflussmöglichkeiten haben hier nationale politische Vorgaben?
- Wie kann der Energieverbrauch eines Modells für den Kunden sinnvoll angegeben werden? Bei rein elektrischen Batteriefahrzeugen ist eine Verbrauchsangabe wie „kWh/km“, Kilowattstunden pro Kilometer, nach der Definition eines Geschwindigkeitsprofils wie bei der heutigen Normverbrauchsbestimmung möglich. Bei Plug-In-Hybridfahrzeugen und solchen mit Range Extender, also beim „Mischbetrieb“ von Flüssigkraftstoffen und Strom, ist eine regulatorische Vorgabe der Verbrauchsbestimmung noch zu finden.

#### 4.5 Ökologische Fragen, „Sauberkeit“ und Elektromobilität

Die ökologischen Effekte, allen voran der Ausstoß an Treibhausgasen, der Elektromobilität hängen zunächst davon ab, wie der Strom entstanden ist. Wie in Kapitel 3.2.5 ausgeführt, kommen hier verschiedene Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen, insbesondere hinsichtlich der Frage ob Elektromobilität auf Basis des aktuellen Strom-Mix mehr oder weniger CO<sub>2</sub> ausstößt, als herkömmliche Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Wenn sich die Mobilitätsmuster tatsächlich hin zu einer flexibleren Verkehrsmittelwahl ändern sollten, könnte eine gut ins Verkehrssystem integrierte Elektromobilität zu einer Reduktion der Verkehrleistung im Pkw-Sektor führen, z.B. weil längere Strecken eher mit der Bahn zurück gelegt werden und erst am Zielort wieder ein Pkw genutzt wird. Dieser Frage wäre weiter nach zu gehen.

Für beide hier angesprochenen Möglichkeiten, also sowohl für eine Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes pro Pkw-Kilometer als auch ein Modal Shift in Richtung öffentlicher Verkehr müssen eventuelle „Rebound-Effekte“ einbezogen werden. Sowohl ein „Sauberes“ fahren als auch frei werdende Kapazitäten auf den Straßen könnte Autofahren wieder attraktiver machen und zu zusätzlichen Emissionen führen.

#### 4.6 Siedlungsstruktur

Verkehr ist ein bedingender und gleichzeitig ein abhängiger Faktor für die Entwicklung der Siedlungsstruktur. Veränderungen im Verkehrssystem können sich mittel- bzw. langfristig auch auf die Siedlungsstruktur auswirken. Diese Wechselwirkungen sollten gerade vor dem Hintergrund einer langfristigen Perspektive umfassender erörtert werden.























































