



Institut für Fahrzeugkonzepte



## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

Dokument zur internen Verwendung für die STROM-Projekte  
„Schlüsseltechnologien der Elektromobilität“ des BMBF

Arbeitspapier der STROMbegleitung

### **Ergebnisse der Forschungseise Nordamerika**

Matthias Klötzke<sup>1</sup>, Arne Höltl<sup>2</sup>, Stefan Trommer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

<sup>2</sup>DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF)  
Rutherfordstraße 2  
12489 Berlin

November 2013

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Durchführung der Reisen .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>5</b>
3.1	Erkenntnisse zu den Rahmenbedingung der Elektromobilität in Nordamerika.....	5
3.1.1	Rolle und Aufgaben der Regierung bei der Markteinführung .....	5
3.1.2	Fahrzeuge und Marktentwicklung.....	7
3.1.3	Geschäftsmodelle und Fahrzeugnutzung.....	7
3.1.4	Kaufanreize.....	9
3.1.5	Ladeinfrastruktur.....	10
3.1.6	Exkurs: Kalifornien .....	12
3.1.7	Exkurs: Kanada .....	13
3.2	Technologien .....	14
3.3	Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
3.3.1	Elektrische Maschinen .....	14
3.3.2	Leistungselektronik .....	15
3.3.3	Leichtbau .....	16
3.3.4	Fahrzeugkonzepte.....	16
3.3.5	Exkurs: Brennstoffzellenfahrzeuge?.....	17
<b>4</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>18</b>

# 1 Einleitung

Im Rahmen der STROM-Begleitforschung fand eine Forschungsreise nach Nordamerika statt. Vertreter des DLR führten dort Interviews mit regionalen Akteuren der Elektromobilität durch. Die Forschungsreisen, die auch in weiteren Regionen durchgeführt werden (Japan, Europa, China, Indien), sind zentrale Elemente zweier Themenbereiche der STROM-Begleitforschung: Zum einen der Trendanalyse zu Fahrzeugtechniken und –konzepten, die spezifisch auch die internationalen Trends in der Fahrzeugtechnik betrachtet, und zum anderen des weltweiten Monitorings der Elektromobilitätsarena, welches detaillierte Regionalstudien in den entsprechenden Ländern umfasst.

Entsprechend der verschiedenen Inhalte der beiden Themenbereiche wurden unterschiedliche Akteure interviewt. Die Interviews, die im Rahmen der Forschungsreise Nordamerika geführt wurden, fokussierten auf folgende vier Bereiche

- Politischer Rahmen und Strategien (z.B. Förderprogramme und –budgets, Standards und Regularien, Infrastruktur und Stromwirtschaft)
- Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte (z.B. Forschungsthemen, Organisation der Elektromobilitätsforschung, Kooperation zwischen den Akteuren)
- Wirtschaft und Industrie (z.B. zentrale Hersteller von Elektroautos, Fahrzeugmodelle, Strategien, Geschäftsmodelle der Elektromobilität im weiteren Sinne)
- Marktstruktur Verbraucher (z.B. derzeitige Bestand von Elektrofahrzeug und Verkaufstrends, Akzeptanz von Elektrofahrzeugen, derzeitige Nutzer)

Im Rahmen der Regionalstudie dienen die vor Ort geführten Interviews zum einen dazu Informationen zu erhalten, die über die, von den Regionalpartnern erstellten, Studien hinausgehen. Insbesondere in Themenfeldern, die nur zum Teil durch öffentliche Dokumente abgedeckt werden können, sind die Interviews eine wichtige Erkenntnisquelle. Zum anderen werden bisherige Erfahrungen und Einschätzungen zur weiteren Entwicklung in den Themenfeldern abgefragt.

Die Interviews, die im Rahmen des internationalen Technologiemonitorings geführt wurden, thematisierten insbesondere Fragestellungen zur Forschungslandschaft, zu Trendentwicklungen und zum Stand der Technik verschiedener Schlüsseltechnologien der Elektromobilität in der spezifischen Weltregion und im Vergleich zu weiteren Weltregionen. Die Schlüsseltechnologiefelder umfassen:

- Fahrzeugkonzept (mit detaillierten Fragen z.B. zu Antriebsstrang-Architekturen)
- Leistungselektronik (z.B. Halbleiter-Materialien)
- Elektrische Maschine (z.B. Substitution Permanentmagnete)
- Thermomanagement (z.B. Luftkühlung) und
- Leichtbau (z.B. Bauweisen und Materialien)

Neben diesen Schwerpunktfeldern wurden je nach Interviewpartner z.T. auch Fragestellungen zu Brennstoffzellen-Systemen und Traktionsbatterien aufgegriffen.

Die Ergebnisse der Interviews dienen dazu, die im Rahmen des Technologie-Monitorings identifizierten Forschungsschwerpunkte einzuordnen und bewerten zu können. Weiterhin dienen die Ergebnisse dazu, die Ausrichtung des Monitorings für die weitere Projektlaufzeit zu fokussieren oder ggfs. auf weitere, neuartige technologische Lösungen erweitern zu können. Die im Rahmen des Technologie-Monitorings durchgeführten Interviews haben einen hohen technischen Detailfokus, gehen damit über die in den beauftragten Regionalstudien identifizierten Fragestellungen hinaus und ergänzen diese auf technologischer Ebene.

Nachfolgend wird ein Überblick über die Interviewpartner von verschiedenen Institutionen gegeben und die Expertenaussagen zusammengefasst.

## **2 Durchführung der Reisen**

Im Zeitraum vom 07.10. – 25.10.2013 wurde in Nordamerika mit insgesamt 28 Vertretern von 20 verschiedenen Institutionen gesprochen. Dabei handelte es sich um Automobilhersteller bzw. Automobilverbände und Dachorganisationen, Forschungsinstitute sowie Ministerien und öffentliche Verwaltungen. Die Interviews fanden zum Teil im Rahmen der Plug-In 2013 Konferenz in San Diego sowie der EVVÉ 2013 in Ottawa statt. Darüber hinaus wurden einige Interviews bei verschiedenen Institutionen vor Ort an der amerikanischen Westküste sowie in Washington D.C. durchgeführt. Die Ergebnisse werden anonymisiert behandelt und spiegeln nicht zwangsläufig die Meinungen und Aussagen aller Interviewpartner sowie der durch sie vertretenen Institutionen wider.

## **3 Ergebnisse**

Die Entwicklung der Elektromobilität hat in Nordamerika (USA und Kanada) in den vergangenen Jahren große Fortschritte gemacht. Insgesamt befinden sich in den USA derzeit ca. 130 000 Elektrofahrzeuge auf der Straße. Insbesondere im Bundesstaat Kalifornien aber auch in vielen Großstädten in den USA und Kanada werden Elektrofahrzeuge zunehmend nachgefragt. Hierbei ist eine beachtliche Stückzahl der Fahrzeuge in privater Hand. Eine Vielzahl an Maßnahmen wurde in den USA in die Wege geleitet, um privaten Käufern die Nutzung von Elektrofahrzeugen attraktiv zu machen. Zusätzlich wurden große Summen in Forschungs- und Entwicklungsprogramme investiert.

Es gibt bei den Experten unterschiedliche Meinungen zur Wirkung von einzelnen Maßnahmen wie beispielsweise Kaufanreize oder gezielter Förderung von Industriezweigen und welche Maßnahmen in welchem Umfang auch in Zukunft bestehen sollten.

Nachfolgend werden zunächst die auf den Interviews basierenden Erkenntnisse zu den Rahmenbedingungen für Elektromobilität in den USA und Kanada dargestellt und im Weiteren Einblicke hinsichtlich der einzelnen Technologiefelder gegeben.

### **3.1 Erkenntnisse zu den Rahmenbedingungen der Elektromobilität in Nordamerika**

Die amerikanische Regierung hat ambitionierte Ziele für die Elektromobilität in den USA ausgegeben: Bis 2015 sollen eine Millionen Elektrofahrzeuge auf US-Straßen fahren. Hierbei werden solche Fahrzeuge gezählt, welche die Möglichkeit haben, rein-elektrisch zu fahren. Also Plug-In Hybride, Batterie-Elektrische sowie Brennstoffzellen-Fahrzeuge. Dass dieses Ziel wohl nicht erreicht wird, darüber sind sich die Experten größtenteils einig. Bei der Frage nach dem realistisch möglichen Zeitpunkt, wann dieses Ziel erreicht werden kann, gibt die Mehrzahl der Experten einen Zeitraum zwischen 2018 und 2020 an. Nur wenige sind der Meinung, dass eine Millionen Fahrzeuge schon vor 2018 oder erst nach 2020 auf der Straße vorhanden seien. Dennoch wird der Tatsache, dass dieses ambitionierte Ziel in dieser Form verkündet wurde, viel Bedeutung zugesprochen. So wurde die Elektromobilität Gegenstand der politischen und technologischen Diskussion, was dabei half, sie zum zentralen Punkt zukünftiger Verkehrsplanungen sowie zum Leitgedanken vieler Industrie-Unternehmen zu machen.

#### **3.1.1 Rolle und Aufgaben der Regierung bei der Markteinführung**

Bei der Markteinführung und Entwicklung von neuen Elektrofahrzeugen in den USA nimmt die nationale Regierung eine steuernde und regulierende Rolle ein. Der Kauf eines Elektrofahrzeugs wird durch die Regierung in Abhängigkeit der Batteriegröße durch Steuervergünstigungen gefördert, maximal mit 7.500 USD. Der Fahrzeugkauf von Modellen eines Herstellers wird für die Höchstzahl von insgesamt 200.000 Fahrzeugen bezuschusst. Käufer von zwei- und dreirädrigen Elektrofahrzeugen mit einer Batterie von mindestens 2.5 kWh werden mit bis zu 2.500 USD unterstützt. Bis Ende 2013 wurden Privatkäufer von Ladestationen mit bis zu 1.000 USD gefördert, Unternehmen erhalten bis zu 30.000 USD für den Aufbau einer eigenen Ladeinfrastruktur. Für das Aufstellen der Ladestation muss eine Genehmigung eingeholt werden, wofür die Kosten bis zu 700 USD betragen können. Da es ca. 40.000 lokale Behörden sind, welche diese Genehmigungen ausstellen, ist es laut den interviewten Experten eine große Herausforderung für die Regierung, für einfache und einheitliche Genehmigungsprozesse zu sorgen. Einige dieser nationalen Förderungen liefen 2013 oder laufen 2014 aus. Verschiedene Verbände aus Herstellern und Dienstleistern bemühen sich zurzeit um eine Verlängerung der Maßnahmen sowie eine generell längere Laufzeit von Förderprogrammen.

Auf Grund der Erfahrungen mit einer ersten Markteinführung von Elektrofahrzeugen in den 90er Jahren und dem darauf folgenden Abschwung sehen viele Amerikaner Reglementierungen grundsätzlich sehr kritisch. Damals war das „Zero Emission Vehicle Mandate“ (ZEV) des Air Resource Board (ARB) einer der Hauptgründe für die Entwicklung und Markteinführung von Elektrofahrzeugen. Oft wird das Motto, „der Markt soll es richten“ genannt, wenn man die Rolle der Regierung anspricht. Zu strenges und frühes Regulieren ist laut den meisten Experten eher kontraproduktiv. Grundsätzlich setzt sich die Regierung zurzeit sehr stark für Lösungen ein, welche zu einer Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern führen und sieht eine größere Anzahl an Fahrzeugkonzepten mit alternativen Antrieben als probates Mittel, um dieses Ziel zu erreichen. Auch für die Einhaltung der CAFE Standards können Elektrofahrzeuge für die Hersteller einen wichtigen Beitrag leisten.

Die Möglichkeit von einzelner Bundesstaaten oder Stadtverwaltungen, die Marktentwicklung positiv zu beeinflussen, wird als größer eingeschätzt da die Bundesstaaten eine sehr selbständige Energiepolitik verfolgen. Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Durchsetzung der Elektromobilität unterscheiden sich in den, in vielerlei Hinsicht sehr unterschiedlichen, Bundesstaaten der USA stark. Begünstigende Standortfaktoren sind laut den Experten eine insgesamt innovative Industrie, eine hohe Kaufkraft und geringe bürokratische Strukturen. In besonders pro-aktiven Gemeinden vereinigen sich Energieversorger, Fahrzeughändler und politische Entscheidungsträger, um gemeinsam Strategien und Handlungsempfehlungen für die Nutzer von Elektrofahrzeugen auszuarbeiten. Als Ergebnis solcher Prozesse entstehen Roadmaps, welche den Nutzern online zur Verfügung stehen und ihnen bei den Schritten vom Elektroauto bis zur Lademöglichkeit helfen. Die nationale Regierung wird bei ihrer Formulierung von übergreifenden politischen Strategien von sogenannten National Laboratories unterstützt, welche im Auftrag der Regierung das Potential von besonders relevanten Forschungsergebnissen abschätzen und daraus Empfehlungen für politische (Förder-)Maßnahmen formulieren. Ein Experte beschrieb den Einfluss solcher wissenschaftlichen Einrichtungen, welche über das ganze Land verteilt sind, als sehr groß. Durch die Identifikation von potentiellen Schlüsseltechnologien sollen diese Technologien, deren Entwicklung und die Hersteller solcher technischen Entwicklungen besonders gefördert werden, um langfristig eine Kostenreduktion zu erzielen. Dies gilt aktuell insbesondere für die Batterieforschung, da die Batterie zurzeit noch der größte Kostenfaktor von Elektrofahrzeugen ist. Auf die Förderung von einzelnen Firmen mit hohen Summen, wie es in der Vergangenheit der Fall war, soll nach Ansicht der Experten verzichtet werden. Es soll möglichst der Eindruck vermieden werden, dass die Regierung bestimmte Hersteller bevorzugt.

Bezüglich der Förderung von Elektrofahrzeugen wird die aktuelle Förderstrategie seitens der nationalen Regierung als zu kurzfristig gesehen. Die Kaufprämien für Elektrofahrzeugkäufer werden beispielsweise nicht für einen längeren Zeitraum garantiert, sondern laufen ohne Folgefinanzierung aus. Die fehlende Planungssicherheit verunsichere die Käufer und Hersteller gleichermaßen, denn die Prämien sind ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Marktentwicklung. Eine langfristige Zusicherung von Fördermitteln würde sich laut Experten positiv auf die weiteren Marktentwicklungen auswirken.

Die Autoindustrie hat als Arbeitgeber für junge Leute nicht mehr dieselbe Attraktivität wie dies früher der Fall war, wie ein Experte verrät. Sie gälte als wenig innovativ und veraltet. Um mehr für zukunftssträchtige und innovative Produkte zu tun, bilden sich Kooperationen zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen, insbesondere im Bereich der Materialforschung. Die amerikanische Rüstungsindustrie wird als bedeutender Geldgeber für Projekte zu Schlüsseltechnologien von Elektrofahrzeugkonzepten gesehen. .

### 3.1.2 Fahrzeuge und Marktentwicklung

Die CAFE (Corporate Average Fuel Economy) Standards müssen Fahrzeughersteller in den USA erfüllen, um keine Strafzahlungen wegen zu hohem Flottendurchschnittsverbrauch zu leisten. Dies trägt mitunter dazu bei, dass Hersteller auf alternative Antriebe setzen, um beispielsweise mit Elektrofahrzeugen einen geringeren Durchschnittsverbrauch zu erzielen. Zurzeit sind Elektrofahrzeuge in den USA und Kanada noch am ehesten in den Klein- und Mittelklassensegmenten zu finden. Unter den interviewten Experten war man sich nicht einig, ob die Nachfrage an kleineren Fahrzeugen in Zukunft zunehmen wird und somit die heutigen E-Fahrzeugmodelle im Trend liegen. Zwar ist der Nissan Leaf heute das am meisten verkaufte Fahrzeug in Atlanta und der Toyota Prius in ganz Kalifornien (Stand September 2013). Dennoch besteht in Nordamerika weiterhin eine sehr große Nachfrage nach SUVs und Pick-Ups. Mehrere Hersteller haben angekündigt, in naher Zukunft (Plug-in) Hybridmodelle für Geländewagen und Sportwagen anbieten zu wollen. Somit soll der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch gesenkt und der Anteil an elektrifizierten Antrieben in der Flotte erhöht werden. Neben den gesetzlichen Vorgaben tragen auch der Wertewandel sowie die Verknappung fossiler Kraftstoffe dazu bei, dass Hersteller die Entwicklung von alternativen Fahrzeugen weiter vorantreiben. In den 90er Jahren war es das „ZEV Mandate“ in Kalifornien, was bei einigen OEMs zur Entwicklung von massentauglichen EVs führte.



**Abbildung 1: Pick-Up des Herstellers Dodge mit Elektroantrieb**

Was die heutigen Verkaufszahlen in den USA angeht, so werden diese als durchweg zufriedenstellend gesehen. Es wird erwartet, dass der Anteil an Plug-In Hybriden auf dem Fahrzeugmarkt insgesamt stetig wachsen wird. Plug-In Hybride werden die reinen Hybridfahrzeuge in Zukunft ablösen, so ein Experte. Zudem wird erwartet, dass der Preis für Batteriezellen in naher Zukunft unter 125 USD/kWh sinken wird.

### 3.1.3 Geschäftsmodelle und Fahrzeugnutzung

In Städten wie San Diego oder San Francisco etablieren sich zunehmend Car Sharing Fahrzeuge als Alternative zum Fahrzeugbesitz. In diesen beiden Städten existieren bereits Car Sharing Flotten, welche auch Elektrofahrzeuge beinhalten. Beispiele sind die Smart e-drive Fahrzeuge von Car2Go, BMW ActiveE Fahrzeuge von DriveNow oder Nissan Leaf Fahrzeuge von CityCarShare. Kalifornische Großstädte fördern Car Sharing als alternatives Mobilitätskonzept, und die Nutzungszahlen steigen stetig. Elektrofahrzeuge

bieten sich als Carsharing Fahrzeuge zum einen an, weil man an den Abgabeorten bei dem sogenannten standortgebundenen Carsharing Ladestationen aufstellen kann. An solchen Carsharing Stellen können optional auch andere Fahrzeuge genutzt werden, falls die Reichweite eines Elektrofahrzeugs für eine Fahrt nicht ausreicht. Es bietet sich also eine gewisse Flexibilität für den Nutzer um jede alltägliche Strecke zurücklegen zu können. Auch manche Fahrzeughersteller bieten Geschäftsmodelle an, in welchen Besitzer von Elektrofahrzeugen für Langstrecken ein konventionelles Fahrzeug vergünstigt anmieten können. Das Netz an Carsharing Stationen ist in San Francisco bereits sehr weit ausgebaut. Typischer Carsharing Nutzer, welcher Elektrofahrzeuge auswählen, sind laut den Experten meist gut ausgebildete, alleinlebende Städter in jüngerem Alter. Kinderfamilien ziehen oft aus Kostengründen aus den Großstädten in die Vororte, sind anschließend auf ein eigenes Fahrzeug angewiesen und daher keine regelmäßigen Carsharing Nutzer. Als ein Vorteil des Carsharing Konzepts wird gesehen, dass das Fahrzeug im Voraus online gebucht werden kann und, falls es an einer Ladesäule steht, auch entsprechend automatisch vorkonditioniert werden kann. In besonders kalten oder warmen Regionen kann das Erwärmen oder Abkühlen des Fahrgastraums vor dem Fahren die Batteriekapazität entlasten und somit die erzielbare Reichweite erhöhen. Die zunehmende Sichtbarkeit von Carsharing, nicht nur in Nordamerika, könnte dazu beitragen, dass auch Elektrofahrzeuge sichtbarer im Straßenbild werden.

Immer mehr Arbeitgeber nutzen Elektrofahrzeuge in ihren Dienstwagenflotten. Somit erhalten die eigenen Mitarbeitern die Möglichkeit, sich an Elektrofahrzeuge zu gewöhnen. Es wurde erwähnt, dass sich viele Kaufinteressenten gerade nach dem Testen solcher Dienstwagen für den privaten Kauf entschieden haben. Das „Raising Awareness“ (Sichtbarkeit erhöhen) wird als wichtiger nächster Schritt gesehen, um die Verbreitung von Elektroautos zu unterstützen. Meist gehen Interessenten davon aus, dass man mit Elektrofahrzeugen die alltäglichen Wege nicht abdecken kann. Mit Plug-In Hybridmodellen ist dies allerdings möglich. Trotzdem können viele der innerstädtischen Wege rein elektrisch gefahren werden. Für viele Experten geht es daher darum, möglichst viele Menschen über diese Eigenschaften von Elektrofahrzeugen aufzuklären um keine Reichweitenangst aufkommen zu lassen. Die meisten der heute verkauften Elektrofahrzeuge werden über Leasingverträgen verkauft. Ein Experte vermutete, dass sich die Hersteller die gebrauchten Fahrzeuge gerne zurücknehmen, um die Abnutzung dieser Fahrzeuge analysieren zu können. Die Kaufmotive für Elektrofahrzeuge in den USA sind laut Expertenmeinung sehr schwer zu vorausszusehen, was an der Spontanität der amerikanischen Fahrzeugkäufer liegt.

Erste Studien haben gezeigt, dass die Käufer des Nissan Leaf mehrheitlich jüngeren Alters sind und ein geringes Einkommen haben. Um neue Käufergruppen anzusprechen ist es, wie bereits erwähnt, notwendig die Sichtbarkeit der Elektromobilität zu verbessern. Die meisten Nutzer müssten über die Möglichkeiten und Vorteile von Elektrofahrzeugen aufgeklärt werden. Dazu organisieren Besitzer von Elektrofahrzeugen beispielsweise sogenannte Ride&Drives (etwa Probieren und Fahren) an Orten, wo möglichst eine große Anzahl von Interessenten die Möglichkeit bekommen sollen, ein Elektrofahrzeug testen zu können. Das Ziel solcher Aktionen ist es unter anderem, die Vorteile von Elektroautos, wie z.B. das gute und sehr dynamische Fahrverhalten oder auch geringere bzw. wegfallende Spritkosten sowie geringere Wartungskosten dem potentiellen Käufer aus erster Hand näherzubringen. Auch können so Erfahrungen zur benötigten Lademöglichkeit, deren Verfügbarkeit oder den notwendigen Bewilligungsprozess für das Aufstellen einer solchen Lademöglichkeit am Wohnort direkt weitergegeben werden.



**Abbildung 2: Ride&Drive vor einem Einkaufszentrum (San Diego, Kalifornien)**

Die bereits genannten Einschränkungen von Elektrofahrzeugen, insbesondere die geringere Reichweite, werden als Grund dafür gesehen, dass viele Käufer sich ein Elektrofahrzeug als Zweit-, oder Drittfahrzeug anschaffen um flexibel zu bleiben. Den zurzeit noch recht hohen Anschaffungskosten stehen im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug geringere operative Kosten gegenüber. Zwar werden Elektrofahrzeuge, zumindest ohne Subventionen, in Bezug auf die Anschaffungskosten kurz und mittelfristig nicht die günstigste Alternative, allerdings sind diese Fahrzeuge im Unterhalt oftmals deutlich günstiger. Dies spricht nach Expertenmeinung eher für das Leasinggeschäft und eine monatliche Zahlung inklusive der Rückgabe des Fahrzeugs am Ende der Leasingzeit.

### **3.1.4 Kaufanreize**

Als einen der wichtigsten Punkte für die bisherige positive Entwicklung der Elektromobilität wird von den Experten das Vorhandensein von finanziellen Kaufanreizen gesehen. Diese Kaufanreize, welche sich sowohl aus landesweiten wie auch regionalen und lokalen Subventionen zusammensetzen können, sorgen dafür, dass sich E-Fahrzeuge im Anschaffungspreis auf einem ähnlichen Niveau bewegen können, wie vergleichbare, konventionelle Fahrzeuge. Zurzeit kann der Elektrofahrzeugmarkt in den USA nicht ohne diese Kaufanreize auskommen, hierin sind sich die Experten einig. Momentan (Stand Oktober 2013) erhält der Käufer eines Elektrofahrzeugs eine Steuervergünstigung von insgesamt 7.500 USD. Hinzu kommen weitere Vergünstigungen, welche durch die Bundesstaaten festgesetzt werden. Kalifornien vergibt unter allen Bundesstaaten die höchsten Steuervergünstigungen an Elektrofahrzeugbesitzer. Die Vergünstigungen können von der Steuer abgesetzt werden, was dazu führt dass die Verkaufszahlen für Elektrofahrzeuge zum Ende eines Jahres stark ansteigen, da sich die Vergünstigung in der Steuererklärung im Januar auswirkt. Die Kaufsubventionierung als Steuerungsmittel der Nachfrage nach E-Fahrzeugen wird derzeit diskutiert, weil sie auf absehbare Zeit ein notwendiges Mittel für die Marktentwicklung bleiben wird. Einige Experten befürchten, dass es für die Politik wichtiger sein könnte, die Ausgaben für die Kaufsubvention in naher Zukunft zu senken, als für einen nachhaltigen Absatz an E-Fahrzeugen zu sorgen. Zudem werden die Subventionsmittel in manchen Fällen nur recht kurzfristig bewilligt, was die Planung für Hersteller und Händler erschwert. Dies gilt insbesondere zu Zeiten, in denen

bewilligte Mittel nahezu aufgebraucht und neue noch nicht frei gegeben sind. In etwa 10 Jahren könnten allerdings Subventionen auf Grund des dann bestehenden technischen Fortschritts nicht mehr notwendig sein.

Neben den finanziellen Kaufanreizen werden Haltern von E-Fahrzeugen in den USA noch weitere Privilegien eingeräumt. So bekommen Halter von Plug-In Hybriden und batterie-elektrischen Fahrzeugen einen freien Zugang zu den sogenannten Car-Pool- oder HOV-Lanes (High Occupied Vehicles, Fahrspuren, welche für Fahrzeuge mit 2 Personen (in manchen Fällen auch 3 oder mehr) reserviert sind). Besonders in Städten mit starker Verkehrsbelastung wie Los Angeles und gerade zu Hauptverkehrszeiten ist die Nutzung von HOV Lanes ein wesentlicher Anreiz für die Nutzung von Elektrofahrzeugen. Auch gibt es in vielen Städten freie Parkplätze für die Halter von E-Fahrzeugen. In manchen Fällen haben die nicht-finanziellen Vorteile nach Aussage der Experten sogar einen größeren Einfluss auf die Kaufentscheidung als rein finanzielle Kaufanreize. Dies wird auch dadurch deutlich, dass ein beachtlicher Teil der Kunden, welche sich das „Model S“ der Firma Tesla gekauft haben, die finanziellen Vergünstigungen nicht, oder zumindest nicht in vollem Umfang abgerufen haben. Einschränkend muss man zu diesen Kunden jedoch sagen, dass es sich zum einen bei dem Fahrzeug um ein Premium-Fahrzeug handelt und zum anderen um eine Kundengruppe, die sehr früh neue, „hippe“ Technologien anschafft und nicht vordergründig auf den Preis eines Produkts achtet.

Neben den hier genannten Kaufanreizen wird sich der zukünftige Sprit- und Strompreis stark auf die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen auswirken. Der durchschnittliche Strompreis in den USA liegt weit unter dem Preis in Deutschland, gleiches gilt für den Spritpreis (Stand 2013). Die Ölindustrie hat für die USA eine wichtige wirtschaftliche Bedeutung, und die Nutzung von alternativen Energieträgern für Straßenfahrzeuge würde hier Einbußen mit sich ziehen. Bezahlbare Kraftstoffpreise sehen viele U.S. Bürger als notwendig an, um mit dem eigenen Fahrzeug mobil bleiben zu können da viele Menschen privat sowie wirtschaftlich vom Auto abhängig sind. Eine Steuererhöhung für die Kraftstoffe Benzin und Diesel würde zwar Elektrofahrzeuge als Alternative attraktiver machen, hätte jedoch einen sehr großen Einfluss auf die Mobilität vieler Menschen in den USA. Die Regierung hat die schwere Aufgabe, sowohl die weitere Verbreitung von emissionsärmeren Fahrzeugen voran zu treiben und gleichzeitig die Mobilität der Leute zu sichern.

Es lässt sich festhalten, dass sowohl finanzielle als auch nutzungsbezogene Anreize eine wichtige Rolle bei für die Markteinführung von Elektrofahrzeugen spielen. Wie man am Beispiel der USA erkennen kann, sind unterstützende politische Maßnahmen sehr wichtig für eine erfolgreiche Markthochlaufphase. Die zukünftigen Preisentwicklungen und Fahrzeugnutzungskosten bestimmen maßgeblich mit, ab welchem Zeitpunkt Elektrofahrzeuge einen wesentlichen Anteil am Fahrzeugbestand ausmachen werden.

### **3.1.5 Ladeinfrastruktur**

Ein sehr wichtiges Thema in den Diskussionen rund um die Elektromobilität in den USA ist die Ladeinfrastruktur. Die heute zahlreich vorhandenen Elektrofahrzeuge in Kalifornien haben dazu geführt, dass sich an einzelnen Ladesäulen bereits Warteschlangen bilden wie ein Experte uns aus eigener Erfahrung berichtet. Die Ladeinfrastruktur muss verschiedene Anforderungen erfüllen, beispielsweise muss sie auf die Schwankungen in der Auslastung reagieren können. Benötigt werden Ladestationen in allen Bereichen der täglichen Verkehrswege: am Wohnort, an der Arbeitsstelle und im öffentlichen Raum. Es werden auch die Auswirkung verschiedener Ansätze auf das Strom-Netz kontrovers diskutiert. Im Gegensatz zu Deutschland ist in den USA eine Spannung im Hausnetz von 110 V (Level 1) der Standard. Somit verfügt auch ein Teil der Ladeinfrastruktur lediglich über eine Spannung von 110 V. Da dies, gerade

bei Fahrzeugen mit großen Batterien, einen langen beziehungsweise verlustreichen Ladevorgang zur Folge hat, werden sowohl im privaten wie auch im öffentlichen Bereich Ladestationen mit einem 220 V-Anschluss, sogenannte Level 2 Charger, angeboten. Jedoch ist es, insbesondere bei Häusern mit einem alten Leitungsnetz, zum Teil nicht möglich, die dafür erforderliche Peripherie zu installieren. Auch der Weg zu einer Genehmigung einer privat aufgestellten Lademöglichkeit ist je nach Bundesstaat sehr unterschiedlich. In eigenen Gemeinden informieren Behörden interessierte Kunden anhand Broschüren darüber, wie sie die Genehmigung für eine Lademöglichkeit einholen müssen. Die Kosten für solch eine Genehmigung fallen sehr unterschiedlich aus. Der Ausbau der Ladeinfrastruktur wird sehr lokal organisiert, was auch an der Vielzahl der verschiedenen Stromanbieter liegt. Die Nutzer von Elektrofahrzeugen befürworten solch eine dezentrale Organisation und sehen Regulieren eher als Hindernis. Sie bevorzugen daher die Auswahl der Standorte von Ladestationen eher durch private Anbieter.

Die Einführungsphase der Elektrofahrzeuge in den USA hat gezeigt, dass die Mehrheit der Nutzer ihre Elektrofahrzeuge entweder zu Hause oder am Arbeitsplatz aufladen. Der Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur wie z.B. Ladesäulen am Straßenrand oder auf Parkplätzen wird zwar vorangetrieben. Die Mehrheit der Experten ist sich jedoch einig, dass eine staatliche Förderung von Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz oder zu Hause der rentablere Weg sei. Die längeren Standzeiten am Arbeitsplatz und zu Hause sind hier ausschlaggebend und sprechen gegen eine stark ausgebaute öffentliche Infrastruktur. Durch die Konzentrierung der Ladezeiten zu Hause und am Arbeitsplatz ergeben sich offensichtliche Stromnachfragespitzen. Um eine gleichmäßige Belastung des Netzes zu erreichen, können die Ladezyklen einzelner Fahrzeuge gesteuert und auf einen festen Zeitraum verteilt werden. Hierzu gibt es bereits Anbieter eines solchen intelligenten Lademanagements. In Bezug auf die verschiedenen Ladestandards haben bisherige Erfahrungen gezeigt, dass gerade Kunden, welche ein batterieelektrisches Fahrzeug kaufen, auch eine Level 2 Ladestation installieren möchten. Käufer von Plug-In Hybriden geben sich in vielen Fällen auch mit einer Level 1 Ladestation zufrieden, da die Reichweitenproblematik bei Hybridfahrzeugen nicht in dem Maß besteht, wie es bei batterieelektrischen Fahrzeugen der Fall ist.

Den Stromverbrauch am Wohnort kontrollieren viele Nutzer in den USA bereits über einen intelligenten Stromzähler (Smart Meter). Damit kann der Nutzer den Stromverbrauch des Fahrzeugs genau zuordnen. Ein Experte erwähnte, dass sich sein Stromverbrauch zu Hause bei regelmäßiger Aufladung des Elektrofahrzeugs etwa verdoppeln würde. Für Elektrofahrzeugbesitzer, die in Mehrfamilienhäusern in Großstädten wohnen und über keine eigene Lademöglichkeit besitzen, sind gemeinschaftlich genutzte Ladestationen die einzige Möglichkeit über Nacht das Fahrzeug zu laden. Laut den Experten sind hier insbesondere Stadtverwaltungen gefragt, um Anreize für Hausbesitzer zu schaffen, Lademöglichkeiten für Elektrofahrzeuge zu installieren. Bisher sind die meisten Eigentümer von Elektroautos auch Besitzer einer eigenen Lademöglichkeit am Wohnort. Andere kommen unter Umständen vom Kauf eines Elektrofahrzeugs ab, weil der Hausbesitzer nicht bereit ist, eine Ladesäule am Wohnort aufzustellen. Beispielsweise arbeitet die Stadt Toronto an einem Programm, welches dieses Problem der Ladestationen in Mehrfamilienhäusern aufgreift.

Die interviewten Experten waren sich einig darüber, dass die Sichtbarkeit und die Standorte einer Lademöglichkeit einen starken Einfluss auf die Kaufentscheidung haben. Immer mehr Firmen integrieren darüber hinaus Elektrofahrzeuge in ihre Fahrzeugflotten. Besonders Fahrzeughersteller und Technologiefirmen bieten so ihren eigenen Mitarbeitern an, Elektrofahrzeuge zu testen und den Prozess des Aufladens am Arbeitsplatz auszuprobieren. Viele Käufer, so gaben einige Interviewte an, sind gerade durch die Sichtbarkeit der Elektrofahrzeuge am Arbeitsplatz von einem Kauf überzeugt worden. Daher wird die Regierung von Arbeitgeberseite dazu aufgerufen, den Aufbau der Ladestruktur am Arbeitsplatz

in Zukunft gezielt zu fördern, um den Effekt der erhöhten Sichtbarkeit für die weitere Markteinführung zu nutzen.



**Abbildung 3: Google Mitarbeiterparkplatz mit Ladesäule**

In den USA entstand durch die zahlreichen Elektrofahrzeugtypen zunehmend die Herausforderung, die eine Ladeinfrastruktur für die unterschiedlichen Standards von Ladesteckern zu ermöglichen. Dies gilt insbesondere für Schnellladesäulen, welche in Zukunft eine immer höhere Relevanz haben werden. Tesla betreibt ein eigenständiges Gleichstrom-Supercharger-Netz in Kalifornien, japanische Hersteller nutzen den sogenannten CHAdeMO-Standard und wiederum andere Elektrofahrzeuge den SAE-J1772 Standard. Laut einem Experten wurde seitens der Regierung zu früh davon ausgegangen, dass sich der Typ CHAdeMO durchsetzen wird. Aus diesem Grund wurde zunächst die Ladeinfrastruktur dieses Typs gefördert. Nun ist man bestrebt, neue Ladesäulen aufzustellen welche die unterschiedlichen Standards bedienen können. Ein solches Netz aus kombinierten Ladesäulen ist in den Niederlanden Beispielsweise schon vorhanden.

### **3.1.6 Exkurs: Kalifornien**

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die US-Bundestaaten sehr unterschiedliche Perspektiven für die Einführung von Elektrofahrzeugen aufweisen. Dies liegt unter anderem an der sich unterscheidenden Umwelt- und Energiepolitik, sowie der Motivation Kaufanreize für Elektrofahrzeuge einzusetzen. Kalifornien nimmt unter den Bundesstaaten der USA eine gewisse Sonderrolle ein. Insgesamt werde 40% aller rein batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge in den USA hier abgesetzt, jährlich sind es zurzeit rund 17.000 Fahrzeuge (Stand: 2013). Der Toyota Prius war das am meisten verkaufte Fahrzeug (ca. 60.000 Fahrzeuge, Stand 2013), was die geringe Verbundenheit der Kalifornier zu amerikanischen Herstellern verdeutlicht.

Laut Experten hängt die frühe Markteinführung in Kalifornien mit der Einstellung der Bevölkerung zu neuen Technologien zusammen: Kalifornier nehmen laut der Expertenmeinung eine Pionier- bzw. Vorreiterrolle ein, wenn es um den Test und die Nutzung neuer Technologien geht. Ein Experte: „was

Kalifornien an Gesetzen und Bestimmungen umsetzt, wird sich auch in anderen Staaten durchsetzen“. Das Innovationspotential in den kalifornischen Regionen ist im Vergleich zu den anderen Staaten sehr hoch, nicht zuletzt durch die Technologiezentren im Silicon Valley. Auch die Elektromobilität profitiert von Innovationen der Firmen und Forschungsinstituten in dieser Region. . In Kalifornien gibt es, mit Ausnahme des Herstellers Tesla, keine eigene Autoindustrie. Wenige Arbeitsplätze sind direkt mit großen Herstellern verknüpft. Dazu hat der Bundesstaat einen für amerikanische Verhältnisse schadstoffarmen Energie-Mix der dazu führt, dass der Strom sauberer ist als in vielen anderen Staaten. Für Kalifornien wird bis 2020 ein Anteil von insgesamt 33% an erneuerbaren Energien angestrebt.



Abbildung 4: Batterie-elektrisches Post-Zustellfahrzeug der Firma FedEx in San Diego, CA

### 3.1.7 Exkurs: Kanada

Die Elektromobilität wird in Kanada, wie es auch in den USA der Fall ist, meist als Konzept der urbanen Mobilität gesehen. Die Voraussetzungen zur Umsetzung der Elektromobilität in Kanada sind vergleichbar mit jenen von den meisten Großstädten der USA. Es gibt in Kanada einige wenige extreme Einsatzgebiete von Elektrofahrzeugen, welche diskutiert werden: beispielsweise den Tagebau zur Förderung von Rohstoffen mittels elektrisch betriebenen Transportfahrzeugen (ein bedeutender Industriezweig für Kanada) oder der Einsatz von Elektromotorschlitten in abgelegenen Gebieten im Norden. Für Herausforderungen zur Alltagsmobilität der Stadtbevölkerung unterscheiden sich die Fragestellungen nicht sonderlich im Vergleich zu Deutschland oder den USA. Die großen Distanzen in Kanada sind für den Einsatz von Elektrofahrzeugen für Langstrecken eher ungeeignet. Der Aufbau eines Netzes aus Ladestationen zwischen einzelnen Ballungsräumen ist nicht vorgesehen. Für kanadische Großstädte geht man davon aus, dass der Fahrzeugbesitz stark abnehmen wird da die öffentlichen Nahverkehrsnetze gut ausgebaut sind und die Kosten für das Abstellen des Autos in der Stadt hoch sind. Car Sharing wächst zurzeit sehr stark in Städten wie Vancouver oder Toronto. Wie dies in den USA der Falls ist, geht man auch in Kanada davon aus, dass sich die Fahrzeugflotte in den kommenden Jahren verkleinern wird.

Als Produktions- und Entwicklungsstandort spielt Kanada für US-Firmen eine wesentliche Rolle. Rund 75% aller kanadischen Exporte gehen in die USA. Viele in Kanada gefertigten Fahrzeuge, darunter auch Elektrofahrzeuge, sind ausschließlich für den US Markt vorgesehen und werden in Kanada nicht geführt. In Kanada werden mehr kleine und mittelgroße Fahrzeuge abgesetzt als dies in den USA der Fall ist. General Motors und Ford betreiben in Kanada eigene Forschungsstandorte und kooperieren vor Ort mit Forschungsinstituten und Universitäten. Unter den gemeinsamen Forschungsbereichen spielt insbesondere der Leichtbau eine wichtige Rolle, was wiederum relevant für Elektrofahrzeugkonzepte ist. Auch kanadische Universitäten sind in vielen Kooperationen vertreten, in welchen an Schlüsseltechnologien der Elektromobilität geforscht wird.

Laut den Experten aus Kanada ist man insgesamt mit der Einführung von Elektrofahrzeugen nicht ganz so zufrieden, wenn man die Entwicklungen mit jenen in den USA vergleicht. Die Anzahl der verkauften Fahrzeuge ist eher enttäuschend. Viele Käufer schreckt die geringe Reichweite ab. Deshalb werden sich in Kanada Plug-In Hybride als Elektrofahrzeugkonzept durchsetzen. Allerdings muss dazu die Ladeinfrastruktur noch weiter ausgebaut werden. Die Provinzen, vergleichbar mit den Bundesstaaten in den USA, zeigen wiederum eine unterschiedliche Bereitschaft zur Einführung der Elektromobilität. Besonders Quebec und British Columbia bemühen sich um die starke Förderung der Elektromobilität. Quebec als Provinz hat einen hohen Anteil an Wasserkraft und wenige Arbeitsplätze in der Autoindustrie. Das Öl für Kraftstoffe muss importiert werden. Die Provinz hat daher ein hohes Interesse an Fahrzeugen mit alternativen Antrieben. Den Strom bezieht man Kanada größtenteils aus Wasserkraft und das Land hat nach Norwegen den höchsten Anteil an Erneuerbaren Energien in ihrem Strom-Mix. Die nationale Regierung in Kanada hat sich zum Ziel gesetzt, insbesondere Forschungsaktivitäten in den Bereichen Leichtbau und Antriebssysteme zu investieren. Die Regierung setzt weniger auf den Einsatz von hohen Kaufprämien wie dies in den USA der Fall ist. Laut eines Experten könnten in Kanada bis zu 500.000 Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 auf den Straßen in Kanada fahren, möglich ist ein Anteil von 0,5% an rein batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen in der Fahrzeugflotte.

## **3.2 Erkenntnisse zu den Schlüsseltechnologien**

**An einem Punkt sind sich alle Experten einig. Technologien, die dazu beitragen, der Elektromobilität zu ersten Erfolgen zu verhelfen, existieren zum größten Teil schon in ausreichender Qualität. Interessanter wird es hier bei der Frage, welche Technologien für nächste und übernächste Generation notwendig sind und gegebenenfalls noch entwickelt werden müssen. Hierbei gibt es vor allem ein großes Thema. In vielen Komponenten und Technologien wird der Materialforschung viel Bedeutung für zukünftige Anwendungen zugesprochen. Die wichtigste Komponente ist hierbei ohne Frage die Batterie. Viele Befragte sehen in der Batterie die Komponente, mit der die Elektromobilität nachhaltig zu einer Erfolgsgeschichte werden, an welcher sie aber auch genauso scheitern kann.**

### **3.2.1 Elektrische Maschinen**

Neben den Batterien können noch weitere Komponenten von Fortschritten in der Materialforschung profitieren. Im Bereich der elektrischen Maschinen sollen neue Materialien helfen, seltene Erden in den Permanentmagneten zu reduzieren und im besten Fall vollständig darauf zu verzichten. Denn die Vorteile, die permanent erregte Maschinen bieten, werden wohl von fremderregten, zumindest mittelfristig, nicht ausgeglichen werden können. Hier stehen die Effizienz sowie die Leistungsdichte und die damit

verbundene kompakte Bauweise, welche bei permanent erregten Maschinen positiv ausgeprägt sind, im Mittelpunkt. Allerdings wird die Thematik rund um die seltenen Erden aufgrund der Versorgungssituation sehr kritisch gesehen. Um gegen etwaige Engpässe gewappnet zu sein, wird auch die Notwendigkeit der Weiterentwicklung alternativer E-Maschinenkonzepte als wichtig eingestuft. Bei der Frage, welcher der Wege, ob alternative Materialien für Permanentmagnete oder alternative Maschinenkonzepte, der erfolgsversprechendere oder bessere ist, herrscht Uneinigkeit. Es zeigt sich, dass wohl so lange beide Pfade verfolgt werden, bis eine der Varianten einen technologischen Durchbruch und damit signifikante Verbesserungen hervorbringt. Hierbei ist auch eine Mischung von neuartigen Konzepten in Verbindung mit neuen Permanentmagnet-Materialien eine der Lösungen, die viele Experten für sinnvoll halten. Dabei wird insbesondere das thermische Verhalten der Materialien immer wieder erwähnt. Durch die Erhöhung der Currie-Temperatur könnten die Maschinen weniger anfällig gegenüber Überhitzung werden, wodurch eine höhere Dauerleistung eingestellt werden könnte bzw. die Anforderungen an das Thermo-Management geringer werden. Im Idealfall könnte gänzlich auf ein aktives Thermomanagement bei den elektrischen Maschinen verzichtet werden.

### **3.2.2 Leistungselektronik**

Das thermische Verhalten spielt auch im Bereich der Leistungselektronik eine Rolle. Derzeit muss bei vielen Anwendungen im Automobilbereich ein recht enger Temperaturbereich für die Leistungselektronik sichergestellt werden. Hierfür ist oftmals ein aufwendiges, aktives Thermomanagement notwendig. Besonders bei hohen Leistungen, wie sie beim Beschleunigen, Rekuperieren aber auch während eines Schnellladevorgangs auftreten können, müssen die Bauteile gekühlt werden. Ein breiteres Temperaturspektrum, in welchem die Leistungselektronik zuverlässig arbeiten kann, würde auch dabei helfen, die Packaging-Eigenschaften zu verbessern. Neben dem Thermomanagement und den Packaging-Eigenschaften, welche bei einer Mehrheit der Experten die wichtigste Rolle für zukünftige Leistungselektronikkomponenten spielen, wird immer wieder auch eine Erhöhung der Schaltfrequenzen als Anforderung für zukünftige Bauteile erwähnt. Technologisch vielversprechende sind hierbei Bauteile aus Siliziumkarbid (SiC), die helfen könnten, die Anforderungen zukünftiger Systeme zu erfüllen. Allerdings merken die Experten an, dass ein flächendeckender Einsatz dieser Bauteile erst dann erfolgen wird, wenn sich die Kosten in einem ähnlichen Bereich bewegen, wie es für heutige Bauteile der Fall ist.

Neben den Anforderungen, die im Betrieb des Fahrzeugs an die Leistungselektronik gestellt werden, sollte dem Lademodul nach Meinung der Experten eine große Bedeutung in der zukünftigen Entwicklungsarbeit zukommen. Hierbei werden 2 Themen immer wieder genannt:

Zum einen gibt es gesteigerte Anforderungen an die Ladeinheit, wenn Fahrzeuge in sogenannte Smart-Grids integriert werden. Hierbei dient das Fahrzeug, bzw. die im Fahrzeug befindliche Batterie, als Speicher für Strom aus dem Netz. Sinn dieser Anwendung ist, dass zu den Zeiten, in welchen mehr Strom verfügbar ist als benötigt wird, bzw. Strom besonders günstig bezogen werden kann, dieser in der Batterie gespeichert wird. Zu Zeiten, wenn viel Strom benötigt oder dieser teuer ist, soll er wiederum aus der Batterie in das Netz eingespeist werden. Daraus folgt, dass der Strom nicht nur in eine Richtung durch das Lademodul fließen muss, nämlich beim Laden der Batterie. Das Lademodul muss zudem in der Lage sein, den Strom wieder an das Netz abzugeben. Hierbei werden sogenannten Micro-Grids, also kleine, weitestgehend autarke Netze, welche mit viel erneuerbarer Energie versorgt werden, in den Fokus gerückt.

Zum anderen mahnen die Experten an, dass man sich in Zukunft auf Standards einigen muss. Insbesondere bei Schnellladesystemen stellt dies derzeit ein Problem dar, da einige Hersteller eigene Lösungen am Markt platzieren, die nicht mit den Systemen anderer Hersteller kompatibel sind. Auf der einen Seite kann, solange es keine öffentliche Ladeinfrastruktur gibt, ein Hersteller sicherstellen, dass die

von ihm finanzierten Ladesäulen auch nur von seinen Kunden und mit seinen eigenen Produkten genutzt werden kann. Auf der anderen Seite ist es auf Dauer nicht zielführend, wenn jeder Hersteller sein eigenes Konzept installiert, da dadurch eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme langfristig koexistieren müsste.

### **3.2.3 Leichtbau**

Ein leichteres Fahrzeug bringt nicht nur für Elektrofahrzeuge Vorteile. Auch konventionelle, mit Verbrennungsmotor betriebene Fahrzeuge können Energie einsparen, wenn sie leichter sind. Aus diesem Grund mahnen Experten, den Leichtbau auch in Zukunft weiter engagiert voran zu treiben und ihn nicht im Zuge der Entwicklung von elektrischen Komponenten aus dem Auge zu verlieren. Viele der Technologien sind schon sehr weit ausgereift, da sie schon im großen Maßstab Anwendung finden. Ein Thema, das sich in Zukunft stärker in der Automobilproduktion durchsetzen könnte, sind Faserverstärkte Kunststoffe, wobei den Kohlefasern hierbei am meisten Potential zugesprochen wird. Für eine flächendeckende Anwendung sehen die Experten noch Bedarf in den Produktionsverfahren. Auch im Bereich der Simulation, insbesondere der Simulation von hochdynamischen Vorgängen, wie sie zum Beispiel im Crash-Fall auftreten, gibt es noch einen erheblichen Forschungsbedarf. Um, über den Betrieb des Fahrzeuges hinausgehend, eine positive Lebenszyklusanalyse dieser Bauteile gewährleisten zu können, sollten auch nachhaltige Recyclingkonzepte in zukünftigen Überlegungen immer eine Rolle spielen.

### **3.2.4 Fahrzeugkonzepte**

Bei einem Vergleich von Fahrzeugen auf amerikanischen Straßen und Fahrzeugen, wie sie in Europa gefahren werden, ist vor allem die Fahrzeuggröße ein herausstechender Unterschied. Während in Europa viele Kompaktwagen und Mittelklasselimosinen das Bild bestimmen, sind es in Nordamerika große Fahrzeuge, oftmals SUVs und Pick-Ups, welche einen Großteil ausmachen. Je größer und schwerer ein Fahrzeug ist, desto mehr Energie benötigt es und desto größer muss, bei einem rein-elektrischen Fahrzeug, die Batterie ausgelegt sein, um eine ausreichende Reichweite sicherstellen zu können. Da das mit erheblichen Kosten verbunden ist, dreht sich vieles um die Frage, wie zukünftige Fahrzeuge, besonders elektrifizierte Fahrzeuge, in Nordamerika ausgestaltet sein werden. Hierbei geht die Meinung der Experten weit auseinander.

Auf der einen Seite ist man der Meinung, dass die Fahrzeuge auch in Zukunft ähnliche, wenn nicht gar größere Ausmaße annehmen werden, wie das heute schon der Fall ist. Hierbei geht man davon aus, dass der Anteil an rein-elektrischen Fahrzeugen eher gering sein wird und der Markt vielmehr von Hybrid-Fahrzeugen bestimmt wird. Konzepte, wie das Model S der Firma Tesla werden hierbei nicht als ein Massenmarkt-fähiges Fahrzeug angesehen. Vielmehr werden derartige Fahrzeuge auch in Zukunft Kunden ansprechen, die über ein gewisses Vermögen und einen gesellschaftlichen Status verfügen.

Auf der anderen Seite sind viele Experten davon überzeugt, dass die Käufer in Nordamerika in Zukunft kleinere, kompakte Fahrzeuge kaufen werden, die zu einem erheblichen Anteil hochgradig elektrifiziert sein werden. Hierbei spielen rein-elektrische und Range-Extender Fahrzeuge eine sehr wichtige Rolle.

Einigkeit herrscht hingegen bei der Meinung, dass es deutlich einfacher und auch wirtschaftlich sinnvoller sei, mit kleineren elektrifizierten Fahrzeugen zu fahren.

Zwei Entwicklungsrichtungen können bezüglich dem Elektrofahrzeugkonzept unterschieden werden: das Purpose Design und Conversion Design. Unter den Experten war man sich nicht einig, welches Designkonzept erfolgsversprechender ist: die komplette Neukonzeptionierung eines Elektroautos bzw. der wesentlichen Fahrzeugkomponenten wie im Purpose Design oder das Zurückgreifen auf bestehende Fahrzeugkarosserien, wie es im Conversion Design gehandhabt wird. Für das Entwickeln eines neuen

Fahrzeugkonzepts spräche, dass das Elektrofahrzeug an sich ein völlig neues Mobilitätserlebnis für die Nutzer ist, welches auf Basis der Bedürfnisse der Nutzer entwickelt werden sollte. Auch der Vorteil, dass ein komplett neues Fahrzeugdesign einen äußerlichen Wettbewerbsvorteil bringt, wurde genannt. Hierbei war vor allem die Tatsache, dass ein Fahrzeug direkt als Elektrofahrzeug und damit als neu, modern und innovativ erkannt werden kann, genannt.

Das sogenannte Conversion Design, welches keine Neuentwicklung der Fahrzeugkarosserie vorsieht, ist in der Entwicklung wesentlich kostengünstiger. Auf Grund der geringeren Entwicklungskosten beim Conversion Design wäre diese Alternative zum jetzigen Zeitpunkt wirtschaftlich sinnvoller, meinten Befürworter. Sie argumentierten auch, dass man durchaus vorhandene Fahrzeugmodelle als Basis nutzen sollte, da Kunden altvertraute Modelle bevorzugen würden. Zudem könnte auf bestehende Produktionslinien zurückgegriffen werden, wodurch eine hohe Auslastung und damit eine kosteneffiziente Produktion sichergestellt werden. Lediglich für den Antriebsstrang und seine Komponenten müssten separate Produktionen aufgebaut werden. Als allgemeine Prognose zur Entwicklung der Fahrzeugvarianten wurde geäußert, dass in den nächsten 10 bis 15 Jahren wohl verschiedene Antriebsarten in der gleichen Modellbaureihe koexistieren werden.

### **3.2.5 Exkurs: Brennstoffzellenfahrzeuge?**

Kontrovers wird auch in Nordamerika über das Thema Wasserstoff diskutiert. Dass Wasserstoff ein geeigneter Energieträger wäre, um Fahrzeuge umweltfreundlich betreiben zu können, ist für den größten Teil der Experten keine Frage. Ob dies jedoch technologisch und wirtschaftlich kurz- bis mittelfristig möglich sein wird, ist wohl noch lange nicht geklärt. Sicher scheint zu sein, dass es keine Konzepte mehr geben wird, bei welchem Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor verbrannt wird. Neben der Entwicklung von wirtschaftlichen, kompakten und robusten Brennstoffzellensystemen steht die Industrie besonders bei der Infrastruktur vor ungelösten Problemen. Einige Experten sind der Meinung, dass es erst ein weitflächig ausgebautes Wasserstofftankstellen-Netz geben muss, bevor die Fahrzeuge im großen Stil am Markt angeboten werden können. Andere Experten vertreten den Standpunkt, dass schon eine kleine, lokal begrenzte Anzahl an Wasserstofftankstellen ausreichen würde, um die ersten Fahrzeuge an private Kunden verkaufen zu können. Das Tankstellen-Netz müsste dann gemächlich mit der steigenden Zahl von Fahrzeugen im Markt vergrößert werden. Neben diesen beiden Ansichten gibt es auch Stimmen, die sagen, dass Wasserstofffahrzeuge kurz- und mittelfristig überhaupt keine Option für Privatkunden darstellen werden. Lediglich Zulieferfahrzeuge und Fahrzeuge, die in einem sehr eingeschränkten Areal betrieben werden, könnten mit Brennstoffzellen-Antrieben ausgestattet werden, wobei die Versorgung über eine zentrale Tankstelle sichergestellt werden sollte.

Auch die Möglichkeit, große LKWs, welche hauptsächlich lange Strecken zurücklegen, mit Brennstoffzellensystemen auszustatten, stößt auf geteilte Meinungen. Für einige Experten stellt das eine kurz- bis mittelfristige Alternative dar, für andere Experten kommt das nicht in Frage, da auf der einen Seite das Brennstoffzellen- sowie das Wasserstoff-Tank-System sehr teuer würden und auf der anderen Seite der Einsatz dieser Fahrzeuge auf Strecken begrenzt sei, die eine ausreichende Wasserstoffinfrastruktur aufweisen können. Das bloße Installieren von Wasserstofftankstellen reicht dabei nicht aus. Diese müssen auch mit den entsprechenden Mengen Wasserstoff versorgt werden. Ob Pipelines hierbei die einzige Lösung sind, darauf wollten sich die Experten nicht festlegen. Auch wenn weitere Lösungen (Transport des Wasserstoffs per LKW, Erzeugung des Wasserstoffs vor Ort) wohl nicht praktikabel seien.

## 4 Fazit

Nach Meinung der nordamerikanischen Elektromobilitäts-Experten hatten die monetären und nicht-monetären staatlichen Fördermaßnahmen, welchen den Kunden beim Kauf eines elektrifizierten Neufahrzeugs unterstützen, den größten Einfluss auf die positive Entwicklung der Elektromobilität. Neben den gewährten finanziellen Zuschüssen wurde hier besonders der Zugang zu Fahrspuren, welche sonst nur von Fahrzeugen genutzt werden dürfen, die mit mehreren Personen genutzt werden, hervorgehoben.

Dennoch darf nicht außer Acht gelassen werden, dass auch im Bereich der Forschung und Entwicklung große Anstrengungen unternommen wurden. Es wurden Technologien entwickelt, welche Fahrzeuge hervorgebracht haben, die den Bedürfnissen der Kunden gerecht werden.

Die Neugier nach Neuem und der Drang zum Neuen helfen, besonders in Kalifornien, neue Technologien im Markt zu platzieren. So schafft man mit einer schon recht breiten, innovativen Kundengruppe, eine frühe Sichtbarkeit für alternative Fahrzeuge, wodurch diese in den Alltag integriert werden, was hilft, Vorbehalte konservativerer Kunden frühzeitig abzubauen.

Wie sich die Elektromobilität in Zukunft entwickeln wird, kann nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden. Gerade die Unsicherheit bei staatlichen Maßnahmen zur Schaffung von Kaufanreizen lässt die Experten bei Vorhersagen und Prognosen zögern. Dennoch sind sich alle einig, dass die Elektromobilität auf lange Sicht eine Erfolgsgeschichte darstellt. Ob die Fahrzeuge dabei rein batterie-elektrisch, als Hybride oder mit Brennstoffzellen-Antrieb über die Straßen rollen werden, hängt von vielen Faktoren ab. Hauptsächlich wohl von der technischen Entwicklung bei Batterie-Systemen, der Brennstoffzellen und der Wasserstoffinfrastruktur.

Bei Fragen und/ oder Anregungen wenden Sie sich jederzeit gerne an

Matthias Klötzke

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 6862 8092

Telefax +49 (0)711 6862 258

[Matthias.Kloetzke@dlr.de](mailto:Matthias.Kloetzke@dlr.de)

Arne Hörtl

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Verkehrsforschung | Personenverkehr  
Rutherfordstraße 2  
12489 Berlin

Telefon +49 (0)30 67055-267

Telefax +49 (0)30 67055-283

[Arne.Hoeltl@dlr.de](mailto:Arne.Hoeltl@dlr.de)