



Strukturstudie BW^e mobil

Baden-Württemberg
auf dem Weg in die Elektromobilität

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)

Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH (WRS)

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
Kernergebnisse und Implikationen	3
1 Ausgangslage und Zielsetzung	4
2 Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität	6
2.1 Technologische Grundlagen und Entwicklungspfade	6
2.1.1 Elektromobile Antriebs- und Fahrzeugkonzepte	6
2.1.2 Komponenten von Elektrofahrzeugen	9
2.1.3 Aktuelle Entwicklungsschwerpunkte	21
2.2 Heutige Märkte und Marktszenarios	24
2.2.1 Szenarios der Marktentwicklung	24
2.2.2 Total-Cost-of-Ownership Betrachtung	27
2.2.3 Zahlungsbereitschaft	28
2.2.4 Neue Geschäftsmodelle	29
2.3 Fördermöglichkeiten und Förderbedarf	33
2.4 Wettbewerb der Regionen	35
3 Konsequenzen des Wandels für Baden-Württemberg	40
3.1 Struktur der Automobilindustrie in Baden-Württemberg	40
3.2 Die automobiler Wertschöpfungsarchitektur und ihre Auswirkung auf die Beschäftigungsstruktur	41
3.3 Qualifizierungs- und Bildungsbedarf	49
3.4 Elektromobile Infrastruktur	52



4	Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität	56
4.1	Akteure und Kompetenzen im Bereich der Elektromobilität	56
4.1.1	Batterietechnik	56
4.1.2	Fahrzeugtechnik	58
4.1.3	Infrastruktur	59
4.1.4	Leichtbau	60
4.1.5	Brennstoffzelle	61
4.2	Themenübergreifende Initiativen	62
5	Zusammenfassende Gesamtbetrachtung	66
	Literaturverzeichnis	68
	Internetquellen	70
	Abbildungsverzeichnis	72
	Abkürzungsverzeichnis	74
	Impressum	77

Vorwort

Energieeffizienz wird für die Automobilindustrie immer mehr zum alles beherrschenden Thema. So verlangen nicht nur kosten- und umweltbewusste Kunden nach verbrauchsarmen Fahrzeugen. Auch staatliche Reglementierungen und Vorgaben zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes zwingen die Automobilindustrie, über alternative Fahrzeug- und Antriebskonzepte nachzudenken.

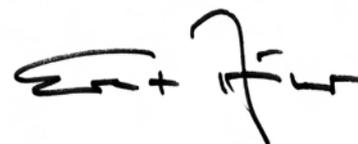
Vor diesem Hintergrund werden herkömmliche Fahrzeuge, welche auf Verbrennungsmotoren basieren, stetig verbessert. Optimierte Otto- und Dieselmotoren und modifizierte Komponenten außerhalb des Antriebsstrangs führen zu immer verbrauchsärmeren und gleichzeitig leistungsstarken Autos. Neben verbesserten herkömmlichen „Verbrennern“ wird vor allem elektromobilen Antriebskonzepten eine steigende Bedeutung beigemessen.

Die Experten sind sich weitgehend einig: In 50 Jahren fahren wir überwiegend rein elektrisch, entweder mit einer Batterie oder mit einer Brennstoffzelle. Wie sich allerdings die unterschiedlichen Antriebskonzepte über die nächsten Jahre anteilmäßig entwickeln werden, darüber herrscht große Unklarheit. Hier existieren zahlreiche Einflussfaktoren, deren Entwicklung die Attraktivität und damit Diffusion der unterschiedlichen Antriebskonzepte beeinflussen. Eine zentrale Bedeutung werden in diesem Zusammenhang die Ölpreisentwicklung, technologische Durchbrüche z.B. in der Batterietechnologie,

die Restriktionen bei der Regulierung des CO₂-Ausstoßes und die Förderung der Elektromobilität in der Stadt einnehmen.

Sicher ist, dass der Wandel hin zur Elektromobilität die gesamte Automobilindustrie vor enorme Herausforderungen stellt. Durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs werden Wertschöpfungsanteile neu verteilt – zwischen entfallenden und neuen Komponenten, zwischen unterschiedlichen Akteuren und möglicherweise auch zwischen den einzelnen Wirtschaftsregionen. Dem „Management des Wandels“ kommt damit eine enorme Bedeutung sowohl für die Unternehmen, Forschungs- und Bildungseinrichtungen, aber auch für die Regierungen zu. Gerade für das Automobilland Baden-Württemberg hat der Wandel hin zur Elektromobilität enorme Auswirkungen auf die gesamte automobilen Wertschöpfung. Mit der Einführung von elektromobilen Antriebskonzepten müssen völlig neue Komponenten verbaut werden, welche wiederum völlig neue Kompetenzen in den Betrieben und neue Inhalte in der Ausbildung erfordern. Darüber hinaus werden einige Komponenten, die in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren verbaut werden, für Elektrofahrzeuge nicht mehr benötigt und langfristig gänzlich hinfällig werden. Elektromobilität eröffnet Unternehmen somit nicht nur Chancen, sondern stellt diese auch vor Herausforderungen.

Damit Baden-Württemberg auch in Zukunft seine Spitzenposition im Automobilmarkt behaupten kann, gilt es den Wandel hin zur Elektromobilität aktiv zu gestalten. Mit der vorliegenden Analyse, welche Auswirkungen die Elektromobilität auf unsere Wirtschaft haben wird, soll ein erster Grundstein dafür gelegt werden. Im Rahmen der Studie wurde eine umfangreiche Analyse von Sekundärliteratur (Technologiestudien, Marktszenarios, Projektberichte, Presseartikel etc.) kombiniert mit Experteninterviews (Fachexperten aus Industrie und Wissenschaft) sowie eine quantitative Erhebung bei den baden-württembergischen Unternehmen der Automobilindustrie über einen Fragebogen durchgeführt.



Ernst Pfister MdL
Wirtschaftsminister des Landes
Baden-Württemberg



Kernergebnisse und Implikationen

- Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs ist in vollem Gange und keine Zukunftsvision mehr. Dabei wird die Elektrifizierung über die verschiedenen Ausprägungsformen des Hybrids (Mild-, Voll-, Plug-In Hybrid, Range Extender) bis zum reinen Elektrofahrzeug mit der Zeit zunehmen. Letztlich wird der weitaus größte Anteil der Automobile voll-elektrisch betrieben werden.
- Wie schnell der Wandel zur Elektromobilität vollzogen werden wird, hängt von vielen Einflussfaktoren ab. Technologische Durchbrüche in der Batterietechnologie, ein steigender Ölpreis, eine restriktive Regulierung des CO₂-Ausstoßes und die Förderung der Elektromobilität in der Stadt nehmen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und damit Attraktivität elektrisch betriebener Fahrzeuge.
- So wünschenswert ein schneller Wandel zur Elektromobilität aus Umweltgesichtspunkten auch ist, er stellt die Automobilindustrie und insbesondere das Autoland Baden-Württemberg vor Herausforderungen. Wettbewerbsvorteile in einem neuen Technologiefeld müssen erneut erkämpft werden, ohne die für lange Zeit weiterhin wirtschaftlich bedeutende Technologieführerschaft im Verbrennungsmotor aufzugeben.
- Die Wertschöpfungsarchitektur des Automobils wird sich sowohl mit dem Trend zum energieeffizienten als auch dem Trend zum elektromobilen Fahrzeug tiefgreifend ändern. In den Themen Effizienztechnologie für den Verbrennungsmotor und Traktionsbatterie liegen die größten Wertschöpfungs- und damit Arbeitsplatzpotenziale.
- Baden-Württemberg ist als Technologiestandort für die Elektromobilität hervorragend aufgestellt. In den wichtigen Bereichen, von der Batterietechnik über die Fahrzeugtechnik bis hin zum Leichtbau, der Infrastruktur und der Brennstoffzelle sind Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen in Baden-Württemberg an vielversprechenden Initiativen beteiligt. Die Nachhaltigkeit dieser Projekte und Initiativen gilt es zu sichern.
- Während Baden-Württemberg als Forschungs- und Entwicklungsstandort bezüglich der Elektromobilität über alle Bereiche hinweg sehr gut aufgestellt ist, gilt es dieses Potenzial auch für Baden-Württemberg als Produktionsstandort für die Elektromobilität nutzbar zu machen. Dies schließt den gezielten Aufbau von Leuchttürmen (wie insbesondere eine Batterieproduktion) und die Etablierung von elektromobilen Wertschöpfungsketten unter Einbezug kleiner und mittelständischer Unternehmen im Land ein.
- In dem zunehmenden Förderwettbewerb der Regionen auf kontinentaler (USA, Asien, Europa), europäischer (Deutschland, Frankreich, Italien) und nationaler (Baden-Württemberg, Bayern, Nordrhein-Westfalen, Sachsen) Ebene ist Baden-Württemberg gerade aufgrund seiner hervorragenden Ausgangsposition gut beraten, planvoll und konsequent die heimische Industrie- und Forschungslandschaft bei diesem Technologiewandel zu unterstützen.
- Der systemische Charakter der Elektromobilität erfordert den Einbezug aller relevanten Akteure aus Industrie, Forschung, Bildung aber auch dem Bau- und Infrastrukturbereich sowie von Städten und Kommunen, um Aktionismus und Strohfeuer zu vermeiden und stattdessen ein nachhaltiges „Management des Wandels“ zu etablieren. Eine der Komplexität, dem Zeithorizont und der Bedeutung des Themas angemessene wissenschaftliche Begleitung dieses „Managements des Wandels“ ist angezeigt.

1

Ausgangslage und Zielsetzung

Mit der Entwicklung der ersten Verbrennungsmotoren in Baden-Württemberg durch Gottlieb Daimler und Carl Benz wurde der Grundstein für eine prosperierende Automobilindustrie weltweit, und insbesondere für das Autoland Baden-Württemberg gelegt. Wurden damals Unternehmen, deren Geschäft auf der Pferdekutsche basierte, mit der disruptiven Technologie „Verbrennungsmotor“ konfrontiert, so zeichnet sich heute erneut ein radikaler Systemwechsel ab. Ausgelöst durch den Beschluss der Bundesregierung in Meseberg zur Förderung der Elektromobilität und verschiedener Aktivitäten von Fahrzeugherstellern zur Ankündigung von Produkten und Flottenversuchen werden elektromobile Antriebskonzepte zunehmend in der breiten Öffentlichkeit diskutiert.¹

Unter „Elektromobilen Antriebskonzepten“ sind dabei sämtliche Fahrzeuge im Straßenverkehr zu verstehen, die zumindest einen Teil einer Strecke rein elektrisch angetrieben zurücklegen können, gleich ob sie ihre Energie von einer Batterie oder einer Brennstoffzelle beziehen.

Definition »Elektromobile Antriebskonzepte«

Unter elektromobilen Antriebskonzepten werden sämtliche Personenkraftwagen, Nutzfahrzeuge sowie Zweiräder (Roller, Fahrräder) im Straßenverkehr verstanden, die zumindest einen Teil einer Strecke rein elektrisch angetrieben zurücklegen können. Es können verschiedene Antriebskonzepte unterschieden werden: rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge, Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung, Plug-In Hybridfahrzeuge, Hybridfahrzeug (mild/voll) sowie Brennstoffzellenfahrzeuge.

¹ Vgl. VDA (2008): „VDA Position zur Elektromobilität“



Bezüglich ihrer Auswirkung auf die Industrie ist der Technologiewechsel hin zur Elektromobilität mit der Technologierevolution „Pferdekutsche => Verbrennungsmotor“ vergleichbar: Das Elektrofahrzeug der Zukunft wird zwar ähnlich aussehen wie heutige Fahrzeuge, unter der Karosserie werden sich jedoch gänzlich neue Systeme und Teile wiederfinden. Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs führt dazu, dass Wertschöpfungsanteile neu verteilt werden: zwischen entfallenden und neuen Komponenten, zwischen den unterschiedlichen Akteuren und möglicherweise auch zwischen den einzelnen Wirtschaftsregionen.

Gerade für das Autoland Baden-Württemberg ist es daher wichtig, sich aktiv auf die Elektromobilität vorzubereiten. Damit Baden-Württemberg auch in der Zukunft seine Spitzenposition im Automobilmarkt behaupten kann, müssen die erwarteten Auswirkungen der Elektromobilität auf die automobilen Wertschöpfung erfasst sowie die damit verbundenen Chancen und Risiken identifiziert werden.

Im Rahmen dieser Studie sollen maßgeblich folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Welche technologischen Grundlagen und Entwicklungspfade existieren?
- Welche Märkte gibt es und wie werden sich diese entwickeln?
- Welche Auswirkungen auf die Wertschöpfung und Beschäftigungsstruktur hat die Elektromobilität in Baden-Württemberg?
- Welche Akteure und Kompetenzen, Cluster und Initiativen bestehen in Baden-Württemberg im Bereich der Elektromobilität?

Dabei wurden im Rahmen der Studie neben umfangreichen Sekundärdatenrecherchen auch Primärdaten erhoben und ausgewertet. So wurde ein Fragebogen erstellt und ausgewertet, welcher gezielt an die Automobilzulieferindustrie des Landes Baden-Württemberg gerichtet wurde. Daneben sind mehrere persönliche sowie telefonische Interviews mit Experten aus Industrie und Forschung durchgeführt worden. Am Ende der einzelnen Kapitel finden sich diese Prognosen und Meinungen systematisch zusammengefasst wieder (Expertengespräche sowie die quantitative Auswertung).

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

2.1 Technologische Grundlagen und Entwicklungspfade

Elektromobile Antriebskonzepte gewinnen zunehmend an Bedeutung. Doch was wird genau unter elektromobilen Antriebskonzepten verstanden? Im Rahmen dieses Kapitels sollen dazu Konzepte, technische Grundlagen sowie mögliche Entwicklungspfade aufgezeigt werden.

2.1.1 Elektromobile Antriebs- und Fahrzeugkonzepte

Fahrzeuge können sowohl nach der Art des Antriebskonzepts als auch nach Fahrzeugtyp unterschieden werden. Die Antriebskonzepte wiederum lassen sich in konventionell und elektromobil unterteilen, wobei unter konventionellen Antriebskonzepten Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor sowie optimierte Verbrennungskraftfahrzeuge verstanden werden. Elektromobile Antriebskonzepte hingegen umfassen Hybridfahrzeuge (parallel, leistungsverzweigt), Plug-In Hybridfahrzeuge, Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung (serieller Hybrid) sowie reine Elektrofahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge (vgl. Abbildung 1)².

- Hybridfahrzeuge (paralleler Hybrid, leistungsverzweigter Hybrid)
Charakteristische Merkmale: Elektromotor zur Unterstützung des Fahrantriebs; Batterie durch Rekuperation aufladbar; Kombination eines klassischen Verbrennungsmotors mit Elektromotor; rein elektrischer Antrieb teilweise möglich über geringe Reichweite. Je nach Unterstützung durch den Elektromotor wird auch von Mild- oder Full-Hybrid gesprochen. Beispiele aktueller und geplanter Modelle: Toyota Prius, Daimler S400 Hybrid, Honda Insight

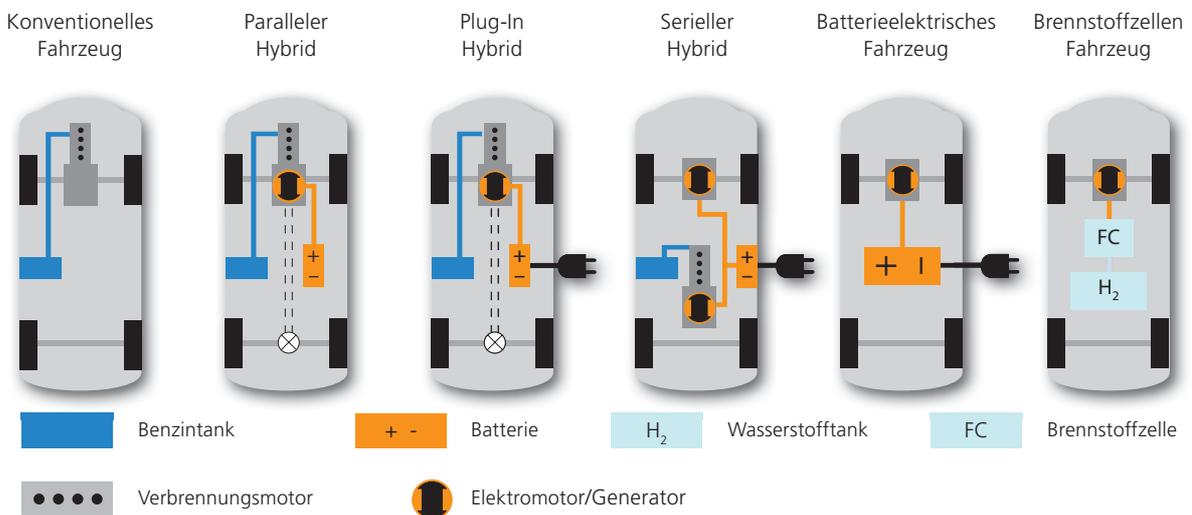


Abbildung 1: Die Vielfalt elektromobiler Antriebskonzepte³



Pedelecs und elektrische Kleinräder: Elmoto



PKW-Individualverkehr: Smart E-Drive



Nutzfahrzeuge: Vito E-Drive



Arbeitsmaschinen: Atlas/Deutz Hybrid-Radlader



Öffentlicher Verkehr: Citaro FC-Bus



Abbildung 2: Die Vielfalt elektromobiler Fahrzeugkonzepte⁵

- **Plug-In Hybridfahrzeug (PHEV)**
Charakteristische Merkmale: Elektromotor mit am Netz aufladbarer Batterie; Kombination von klassischem Verbrennungsmotor mit Elektromotor; rein elektrischer Antrieb möglich, abhängig von Batteriegroße und Nutzung. Der Unterschied zum klassischen Hybrid liegt in der Möglichkeit der Aufladung der Batterie über das Netz. Beispiele aktueller und geplanter Modelle: Fisker Karma, Prius Plug-In, Daimler S500 Plug-In
- **Elektrofahrzeug mit Reichweitenverlängerung (REEV)**
Charakteristische Merkmale: Starker Elektromotor mit am Netz aufladbarer Batterie; rein elektrischer Antrieb; modifizierter Verbrennungsmotor mit beschränkter Leistung zur Aufladung der Batterie, auch serieller Hybrid genannt. Beispiele aktueller und geplanter Modelle: GM Volt, Opel Ampera, Mindset

- **Batterieelektrisches Fahrzeug (BEV)**
Charakteristische Merkmale: Starker Elektromotor mit am Netz aufladbarer Batterie; kein Verbrennungsmotor, Treibstofftank, Abgasanlage; für die Batterieladung wird lediglich das Stromnetz und Rekuperation genutzt. Beispiele aktueller und geplanter Modelle: Mitsubishi i-MiEV, Nissan Leaf, BYD e6, Smart ED, Tesla Roadster
- **Brennstoffzellenfahrzeug (FC)**
Charakteristische Merkmale: Elektromotor wird über Energieträger Wasserstoff und Energiewandler Brennstoffzelle mit elektrischer Energie versorgt; verfügt ebenfalls über Batterie (Rekuperation). Beispiele aktueller und geplanter Modelle: Daimler Necar, Honda Clarity, Daimler Citaro, Daimler B-Klasse F-Cell

Bezüglich der Fahrzeugkonzepte kann differenziert werden zwischen Fahrzeugen des Individualverkehrs (PKW, Zweiräder, Nutzfahrzeuge, Arbeitsfahrzeuge) und des öffentlichen Verkehrs (Busse, schienengebundene Fahrzeuge, Schiffe). Abbildung 2 zeigt beispielhaft Ausführungen hierzu⁴.

2 Bundesregierung (2009): „Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität“ | 3 Eigene Darstellung | 4 Weitere Fahrzeuge finden sich beispielsweise unter <http://www.hybrid-autos.info> oder <http://www.electricmotornews.eu/cars/index.html> | 5 Eigene Darstellung; Elmoto: <http://presseservice.region-stuttgart.de/sixcms/media.php/725/elmoto-1.jpg>; Smart E-Drive: <http://www.cars-wallpapers.net/wp-content/uploads/2008/09/2008-smart-ed-electric-drive-2.jpg>; Vito E-Drive: http://www.wiesenthal.at/iddb/archiv10820/web_10_archiv10820_131677.jpg; Atlas/Deutz: http://www.atzonline.de/cms/images/deutz_070509c.jpg; Citaro FC-Bus: <http://www.hydrogencarsnow.com/images/blog/citaro-fuelcell-bus.jpg>

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

Ist im Folgenden von „Elektrofahrzeugen“ die Rede, so werden darunter Personenkraftwagen mit einer elektrischen Antriebskomponente verstanden. Soll auf den rein elektrischen Antrieb eingegangen werden, so wird die Bezeichnung „Batterieelektrische Fahrzeuge“ bzw. „Brennstoffzellenfahrzeuge“ verwendet. Spielt die Thematik der Verbindung des Fahrzeuges mit

dem Energienetz eine Rolle so wird von „Plug-In Fahrzeugen“ gesprochen.

Die Marktverfügbarkeit von Plug-In und batterieelektrischen Fahrzeugen sowie Brennstoffzellenfahrzeugen ist noch sehr gering. Beinahe alle Hersteller arbeiten jedoch an Fahrzeugen mit elektrischen Antriebskomponenten und haben entsprechende Produkte

angekündigt. Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt der Ankündigungen von Fahrzeugherstellern für den modifizierten Personen-Individualverkehr mit zeitlicher Perspektive.

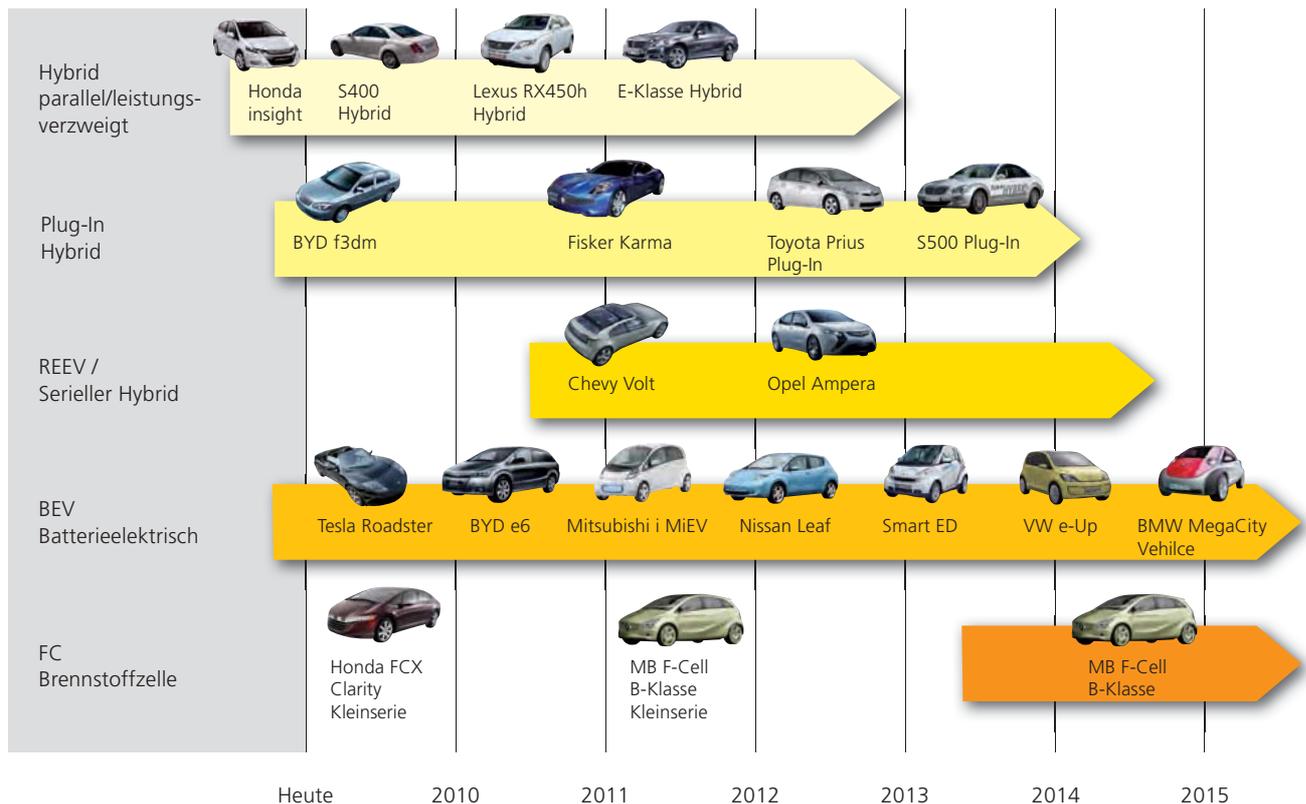


Abbildung 3: Roadmap Elektromobilität⁶

⁶ Eigene Darstellung; S400 Hybrid: http://www.speedheads.de/artikelbilder/2009/Mercedes_S_400_Hybrid_4.jpg; BYD f3dm: http://www.livbit.com/article/wp-content/uploads/2008/11/byd-f3dm_1.jpg; Fisker Karma: <http://www.greencarplanet.com/wp-content/uploads/2009/04/fisker-karma1.jpg>; Chevy Volt: http://broadcasting.files.wordpress.com/2009/08/chevy_volt.jpg; Tesla Roadster: <http://static.datenritter.de/Tesla/roadster1.jpg>; Mitsubishi i-MiEV: <http://www.car-mondo.de/blog/wp-content/uploads/2009/03/mitsuiimiev.jpg>; BMW: http://www.villageenergy.com/images/400_bmw_electric_city.jpg; Honda FCX Clarity: <http://carmaker.files.wordpress.com/2007/11/2008-honda-fcx-clarity.jpg>; Daimler F600: <http://www.hydrogencarinfo.com/pics/DaimlerChryslerMercedesF600Hygenius.jpg>



2.1.2 Komponenten von Elektrofahrzeugen

Energiespeicher allgemein

Ein Elektroantrieb muss die benötigte elektrische Energie immer aus einer geeigneten Energiequelle beziehen – diese setzt er dann hocheffizient mit einem Wirkungsgrad von über 90% in Antriebsleistung um. Der Energiespeicher ist damit die Kernkomponente der Elektromobilität, da er sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Reichweite des Fahrzeuges maßgeblich bestimmt. Nach dem aktuellen Stand der Technik stehen verschiedene Alternativen zur Auswahl: Zu nennen sind insbesondere verschiedene Arten von wiederaufladbaren Sekundär-Batterien (Blei-Säure, NaNiCl, NiMH, Li-Ion), der Energieträger Wasserstoff zusammen mit dem Energiewandler Brennstoffzelle sowie Kondensatoren. Die Energie- und Leistungsdichten von Energiespeichern

werden üblicherweise in einem sogenannten Ragone Plott dargestellt.

Vergleicht man die gravimetrische Energiedichte von Batterien mit der von Benzin oder Wasserstoff, so wird

ein gravierender Nachteil der Sekundärzellen sichtbar (vgl. Abbildung 5). Diese relativ geringe Energiedichte resultiert in der Anforderung, schwere Batteriepacks in das Fahrzeug zu verbauen um akzeptable Reichweiten zu

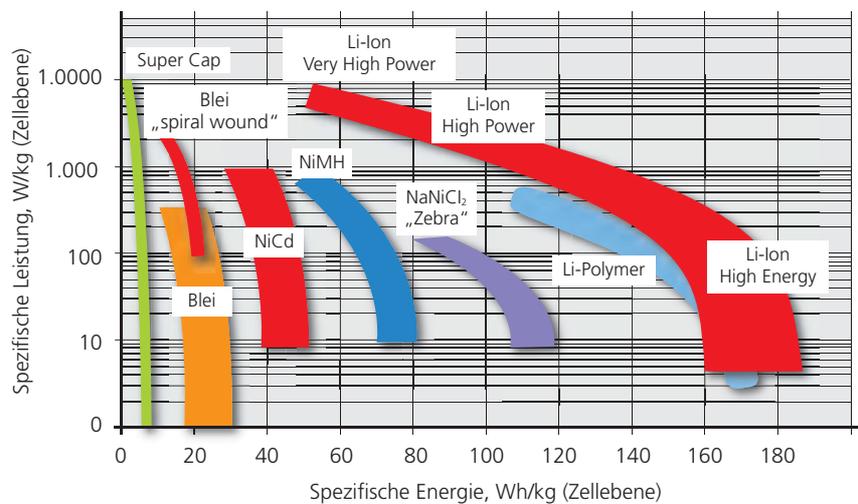


Abbildung 4: Ragone Plott⁷

Wasserstoff



33.306 Wh/kg

Benzin



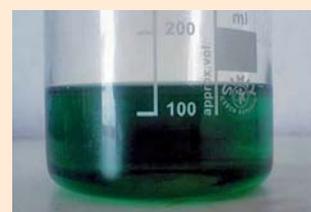
11.944 Wh/kg

Lithium-Ion-Batterie



180 Wh/kg

Ni-MH-Batterie



80 Wh/kg

Abbildung 5: Die gravimetrische Energiedichte unterschiedlicher Energieträger im Vergleich⁸

7 <http://www.saftbatteries.com/> in Sauer, U. (2009): „Elektrische Energiespeicher in Hybrid- und Elektrofahrzeugen“ | 8 Eigene Darstellung: http://www.gla-fuel.com/The_Science.html; Benzin: http://www.eggerst.at/uploads/pics/oe1_02.jpg; Lithium-Ion: http://www.evworld.com/press/lithium_salt/piles_salardeuyuni.jpg; Ni-MH: http://www.versuchschemie.de/upload/files2/20440681_3260.jpg

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

	Wasserstoff / i.V.m. Brennstoffzelle	Li-Ion	SuperCaps	Ni-MH	Blei-Säure
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Energiedichte dreimal so hoch wie Benzin (33.3kWh/kg) 	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe spezifische Energie – Hohe Zell-Nennspannung – Gute Zyklenfestigkeit und Lebensdauer mit (Thermo- und Batteriemangement) möglich – Kein »Memory-Effekt« – Geringe Selbstentladung 	<ul style="list-style-type: none"> – Zuverlässig und robust – Hohe kalendrische Lebensdauer, sehr hohe Zyklenzahl – Sehr große Leistungsdichte 	<ul style="list-style-type: none"> – Zuverlässig und robust, tiefentladefähig – Lange Standzeit im entladenen Zustand – Bei tiefen Temperaturen entladefähig 	<ul style="list-style-type: none"> – Niedrige Herstellungskosten (Materialpreis, Technik) – In großen Stückzahlen und diversen Dimensionen verfügbar
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Wirkungsgrad (48%) gering, allerdings noch besser als Verbrennungsmotor – Speicherung von Wasserstoff problematisch – Infrastruktur noch nicht vorhanden – Hohe Kosten für Brennstoffzellensystem – Wärmeabfuhr der Niedertemperatur-FC problematisch 	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe Kosten – Reaktiv mit Luft und Feuchtigkeit – Aufwändiges Batteriemangement (elektrisch und thermisch) 	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe Selbstentladung (parasitäre, interne Ströme) – Großer Spannungshub – Sehr kleine Energiedichte – Hoher Überwachungsaufwand – Großes Gefahrenpotenzial im Abuse-Fall 	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe Selbstentladung (besonders bei erhöhter Temperatur) – Schlechte Zykleneffizienz – Nur bedingt schnellladefähig – Relativ geringe Energiedichte 	<ul style="list-style-type: none"> – Im allgemeinen geringe Zyklenfestigkeit – Nicht tiefentladefähig – Niedrige Energiedichte – Schlechte Ladezustandserhaltung (Sulfatisierung) – Geringe Lebensdauer
Weiterentwicklungsmöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> – Einsatz neuer, kostengünstiger Katalysatoren – Weiterentwicklung Hochtemperatur FC für mobilen Bereich – Einsatz neuer Speichermöglichkeiten für Wasserstoff – Kostengünstige und gut verfügbare Verfahren zur Erstellung von Wasserstoffherstellung 	<ul style="list-style-type: none"> – Kurzfristige Weiterentwicklungen am Li-Ion -Speicher betreffen die Elektrodenmaterialien zur Erhöhung der Speicherdichte, Elektrolyte, Separatoren, Gehäuse zur Verbesserung der Performance und Sicherheit – Batteriemangement zur Erzielung hoher kalendrischer Lebensdauer und Zyklenzahl bei gleichzeitig hoher Entladetiefe 	<ul style="list-style-type: none"> – EESstor Inc. (Austin/Texas): Kondensator mit ferroelektrischer keramischer Schicht (Bariumtitanat) als Dielektrikum (abgeschätzte Energiedichte bis 340 Wh/kg, noch keine Produkte) 	<ul style="list-style-type: none"> – Verringerung der Selbstentladung durch verbesserte Separatormaterialien 	<ul style="list-style-type: none"> – Durch den Ersatz der Blei-Anode durch eine Kohlenstoffelektrode (Fa. Axion) ist ein preiswerter „Batterie-Super-Cap“ realisierbar – Kürzere Ladezeiten – Höhere Leistungsdichte – Verbesserte Zyklenlebensdauer
Fazit	<ul style="list-style-type: none"> – Gute Eignung für Energiespeicherung/ Wandlung im stationären Bereich – Mobiler Bereich bisher auf Spezialanwendungen beschränkt – Kostenreduktion notwendig für für automobilen Einsatz – Kostengünstige und umweltschonende Herstellung von Wasserstoff muss realisiert werden 	<ul style="list-style-type: none"> – Höchstes Potenzial, allerdings noch hohe Kosten für den Einsatz bei Elektrotraktion – Geringe Stückzahl für geringe Anzahl an E-Fahrzeuge zunächst problematisch – Optimierte Produktion und Serienreife bei Consumer Products. 	<ul style="list-style-type: none"> – Kombination von Super-Caps mit Speichern hoher Energiedichte ist interessant 	<ul style="list-style-type: none"> – Auf Grund der relativ geringen Energiedichte, der hohen Selbstentladung und der schlechten Schnellladefähigkeit sind NiMH-Akkumulatoren nur bedingt für PHEV und BEV geeignet. Allerdings ist das System ausgereift und sehr robust. 	<ul style="list-style-type: none"> – Blei-Säure-Akkumulatoren sind auf Grund der geringen Energiedichte und geringen Lebensdauer für PHEV und BEV nicht geeignet

Abbildung 6: Verschiedene Energiespeicher im Vergleich¹⁰

¹⁰ Eigene Darstellung



erzielen. Der relativ zum Verbrennungsmotor überragenden Effizienz des Elektroantriebs (Effizienz Verbrennungsmotor max. 30% vs. Effizienz Elektromotor 90%) ist es zu verdanken, dass batterieelektrische Fahrzeuge heute überhaupt diskutiert werden. Neben der Energiedichte müssen bei der Auswahl eines geeigneten Energieträgers weitere Faktoren berücksichtigt werden. Hierzu zählen: Leistungsdichte, Sicherheit, kalendarische Lebensdauer, Zyklusfestigkeit, nutzbare Kapazität (Depth-of-Discharge/DoD), Selbstentladungsrate und natürlich die Kosten.

Abbildung 6 macht deutlich, dass jeder Typ von Energiespeicher spezifische Vorteile, aber auch Nachteile aufweist. Es wird somit klar, dass es momentan nicht den einen Energiespeicher gibt, sondern verschiedene Speicher ihre jeweiligen Vorteile in unterschiedlichen Bereichen ausspielen können.

Lithium-Ionen-Batterie

Eine Analyse der Tabelle ergibt, dass die Lithium-Ionen-Batterie unter anderem aufgrund ihrer verhältnismäßig guten Energiedichte (50 bis 200Wh/kg) und Leistungsdichte (bis zu 5.000W/kg) das höchste Potenzial für den Einsatz in zukünftigen Hybrid und batterieelektrischen Fahrzeugen besitzt. Auch spricht die erreichbare hohe Zyklusfestigkeit für einen Einsatz der Batterie im Fahrzeug. Allerdings sind Li-Ion-Batterien verhältnismäßig teuer. Aus dem in Abbildung 7 erkennbaren Zielkonflikt zwischen Leistungsdichte und Energiedichte resultiert eine Differenzierung in Hochenergie- und Hochleistungsbatterien bei Li-Ion Zellen: Während die erste eine hohe Reichweite des Fahrzeugs ermöglicht (beispielsweise bei einem batterieelektrischen Fahrzeug erwünscht), erlaubt die zweite eine starke Leistungsaufnahme und -abgabe (wie sie beispielsweise bei Rekuperation oder Boost-Funktionen im Hybrid gefordert ist).

Im Consumer Products Bereich werden Li-Ion-Batterien seit Langem eingesetzt. Meist findet hierbei eine Lithium-Kobalt-Oxid (LiCoO_2)-Kathode, eine Lithium-Graphit Anode, ein organischer Elektrolyt und ein Polyethylen Separator Verwendung. Japan, Korea, China führen diesen Markt hinsichtlich Technologie und Produktion an. Bei einem Einsatz dieser Consumer-Products-Zellen im Automobil erweisen sich allerdings Eigenschaftsausprägungen

hinsichtlich Sicherheit, Lebensdauer und Alterung der Zellen als problematisch, die aufgrund kurzer Innovationszyklen oder geringer Belastungen im Consumer Bereich nicht zum Tragen kommen. Die Firma Tesla hat zwar bewiesen, dass es möglich ist mit 6831 Li-Ion Zellen des Typs 18650 aus dem Consumer Products Bereich eine Traktionsbatterie aufzubauen, die Experten sind sich jedoch weitgehend einig, dass die extrem hohen Anstrengungen bezüglich des Batteriemaneagements und der Kühlung einer Zukunft von Consumer Products Zellen im Automobil entgegenstehen. Für das Elektromobil sind somit neue Zellen gefragt. Der Trend geht hier zu größeren Zellen (Rundzelle, prismatische Zelle oder Coffe-Bag). Obwohl für dieses Scaling neue Prozesse und Verfahren notwendig werden, können die bisherigen Hersteller von Li-Ionen Batterien stark von ihrem Know-how im Umgang mit den Ausgangsmaterialien und der Produktion kleinerer Zellen profitieren¹¹. Auch die elektrochemischen Grundlagen der Batteriesysteme sind ähnlich bzw. gleich, so kommt beispielsweise in dem Daimler-Evonik-Joint-Venture Li-Tech in Kamenz (Sachsen) ebenfalls LiCoO_2 zum Einsatz.

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

Neben der LiCoO_2 Batterie existiert eine Vielzahl an Ansätzen, welche durch den Einsatz neuer Materialien für Kathode und Elektrode wesentliche Verbesserungen der Eigenschaften der Batterie erreicht haben, insbesondere bezüglich der Energiedichte. Beispielsweise sei die Lithiumeisenphosphat-Zelle erwähnt, welche sich auch dadurch auszeichnet, dass kein „Thermal Run-away“ (unkontrollierter Temperaturanstieg als exotherme Reaktion, der bis zur Explosion der Zelle führen kann) bei erhöhter Temperatur der Zelle statt-

findet. Abbildung 7 zeigt einen Überblick über vier unterschiedliche Li-Ion Batterietypen und deren jeweilige Eigenschaftsausprägung.

Hohe Materialkosten für Anode und Kathode, aber auch für verwendete Aluminium- und Kupferfolien sowie Elektrolyt und Separator bis hin zu aufwendigen Produktionsverfahren und hohen Maschinenkosten resultieren in hohen Preisen für Li-Ionen Fahrzeugzellen. Die Kosten für die Batteriezellen belaufen sich aktuell auf etwa

750\$/kWh für High-Energy und 1125\$/kWh für High-Power Zellen¹³. Kostenreduktionen über Zeit und Skaleneffekte (wirksam bis mehrere Mio. Zellen p.a.) könnten die Kosten auf 262\$/kWh bzw. 375\$/kWh herabsetzen¹⁴. Eine Abschätzung der Kostendegression für High Power und High Energy Zellen ist in Abbildung 8 wiedergegeben.

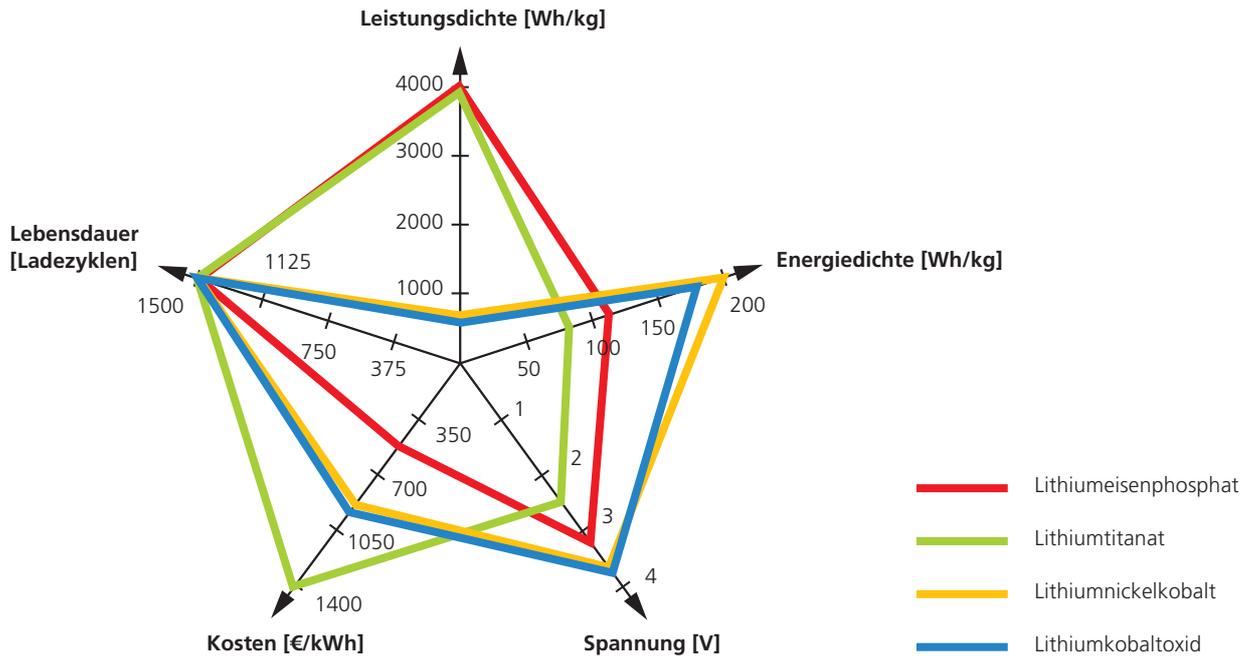


Abbildung 7: Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterietypen¹²

11 Experteninterview Dr. Döring (ZSW) vom 24.11.2009 | 12 Daten Dr. Tübke, Fraunhofer ICT Pfinztal. In: Technologie Review 05/2008 S. 44 | 13 Angaben finden sich unter anderem bei Sauer, U. (2009): „Elektrische Energiespeicher in Hybrid- und Elektrofahrzeugen“ Vortrag erhältlich über http://lexikon.kfz.tu-berlin.de/kfz-seminar/downloads/vortrag_tu_berlin_29012009.pdf | 14 Prozentuale Kostenreduktion über Stückzahlen aus Präsentation „Energiespeicher Effizienz Sicherheit“ Dr. Andreas Gutsch, Li-tec 2009 unpublished. Aktuelle Kosten gemittelt aus veröffentlichten Werten zu u. a. Anderson, D. et al (2009): „An evaluation of current and future cost for lithium-ion Batteries for use in electrified vehicle powertrains“, Sauer, U. (2009): „Elektrische Energiespeicher in Hybrid- und Elektrofahrzeugen“ und Fraunhofer ICT in TR Sonderheft Auto der Zukunft 1/2009 | 15 Prozentuale Kostenreduktion über Stückzahlen aus Präsentation „Energiespeicher Effizienz Sicherheit“ Dr. Andreas Gutsch, Li-tec 2009 unpublished. Aktuelle Kosten gemittelt aus veröffentlichten Werten zu u. a.



Die technologischen Entwicklungslinien der Zellentwicklung lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:¹⁶

- Sicherheit (Neue Elektroden: Anode (TiO₂, Metalllegierungen), Kathode (LiMn₂O₄, LiFePO₄, LiFeO), Separator (keramisch), Elektrolyt (Polymere Elektrolyte, ionische Flüssigkeiten, keramische Elektrolyte, Redox Shuttle)
- Größere Energie- und Leistungsdichte (Neue Elektrodenmaterialien, Separator, Elektrolyt, Nanopartikel-elektroden, Nanostrukturierte Elektroden)
- Lebensdauer, Zyklenbeständigkeit
- Verringerung der Kosten (Neue Elektroden: Anode (TiO₂), Kathode (LiMn₂O₄, LiFePO₄))
- Umsetzung neuer Konzepte (Open Cell Systeme, Lithium-Sauerstoff, Lithium-Schwefel)
- Belebung alternativer Konzepte (Redox Flow)
- Thermisches Management
- Verringerung des Gewichts (bipolarer Aufbau für Hochleistungssysteme)

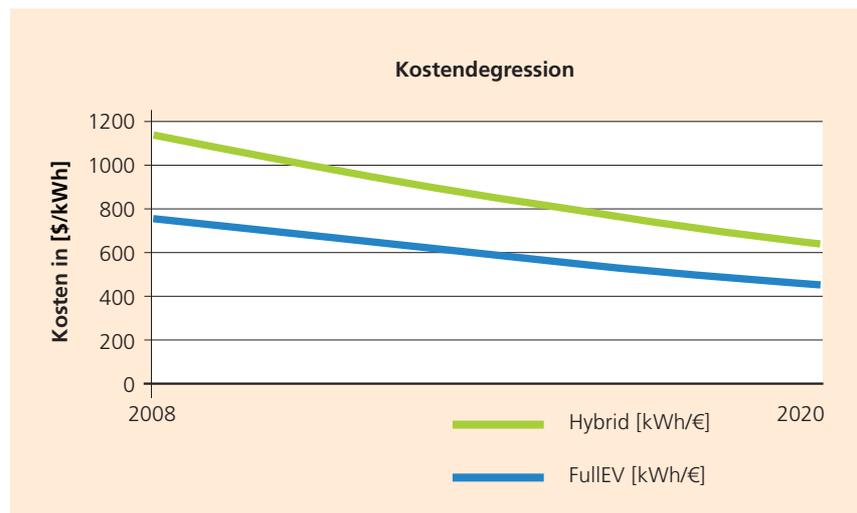


Abbildung 8: Erwartete Kostendegression von Batteriezellen¹⁵

Anderson, D. et al (2009): "An evaluation of current and future cost for lithium-Ion Batteries for use in electrified vehicle powertrains", Sauer, U. (2009): „Elektrische Energiespeicher in Hybrid- und Elektrofahrzeugen“ und Fraunhofer ICT in TR Sonderheft Auto der Zukunft 1/2009, Vgl. auch <http://www.saft-batteries.com/> | 16 Dr. Tübke, Fraunhofer ICT, Pfinztal, McDowall, J. et al. (2008): „Zielkonflikte bei der Sicherheit von industriellen Lithium-Ionen Batteriesystemen“, Sauer, U. (2009): „Elektrische Energiespeicher in Hybrid- und Elektrofahrzeugen“ Vortrag erhältlich über http://lexikon.kfz.tu-berlin.de/kfz-seminar/downloads/vortrag_tu_berlin_29012009.pdf

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

Zelle – Modul – System

Für einen Einsatz in Kraftfahrzeugen müssen die Sekundärzellen zu Batteriesystemen zusammengefasst werden. Hierzu werden Module aus den Einzelzellen gebildet. Die Zellen können in Reihenschaltung zur Spannungserhöhung zusammengefasst werden. Übliche Werte für Batteriesysteme in Fahrzeugen betragen bis zu 400V. Diese Module werden anschließend in ein Gesamtsystem gebündelt, um die Kapazität zu erhöhen¹⁷. Neben den Zellmodulen umfasst ein gesamtes Batteriesystem auch noch Komponenten zum Batteriemangement sowie dem Thermomanagement (vgl. Abbildung 9). Die Batterie ist demzufolge als Gesamtsystem zu verstehen. Eine Systemverbesserung erfordert damit auch eine systemische Optimierung, das isolierte Verbessern einer Komponente (wie beispielsweise dem Kathodenmaterial) ist somit nicht ausreichend.

Auch wenn der maßgebliche Wertschöpfungsschritt auf der Zellebene stattfindet, wird deutlich, dass weitere Komponenten und damit weitere Wertschöpfungsschritte für den Aufbau eines Batteriesystems notwendig sind.

Batteriemangement

Das Batteriemangement überwacht den Ladezustand der einzelnen Zellen, regelt die Kommunikation zwischen den Modulen sowie der Gesamtbatterie, analysiert relevante Sensordaten und steuert Maßnahmen zur Behebung unerwünschter Abweichungen durch bspw. Ansteuerung der Batteriekühlung, Ladungsausgleich zwischen Zellen (Cell-Balancing) bis hin zu Sicherheitsabschaltung bei kritischem Zustand.

Das Elektrolytsystem der Li-Ion Zelle ist nicht überladefähig und damit empfindlich gegen Über- oder Tiefentladung. Produktionsunterschiede führen zu unterschiedlichen Zelleigenschaften, welche im Laufe der Zeit weiter auseinander driften. Das Batteriemangement organisiert diese Unterschiede und wird deshalb als Schlüsselkomponente zum dauerhaften Einsatz von Li-Ion-Batterien in Fahrzeugen gesehen.

Thermomanagement

Li-Ionen Hochleistungsbatterien erfordern neben einem Batteriemangement auch ein aktives thermisches Management zur Übernahme von Kühlung und Erwärmung der Batterie. Die Alterung einer Li-Ion-Batterie hängt insbesondere von der Nutzung (Lade-, Entladeströme, Tiefentladungen) und Einsatzbedingungen ab und bestimmt die nutzbare Lebensdauer. Der Auto-



Abbildung 9: Die Wertschöpfungsstufen der Batterieherstellung¹⁸

¹⁷ Beispielhaft hierfür Blazejak, A. et al. (2009): „iMiEV Das Elektrofahrzeug von Mitsubishi“ Präsentation während PR Tour | ¹⁸ <http://www.mitsubishi-motors.co.jp/NEWS/images/20071212sc.jpg>, http://www.mitsubishi-motors.com/special/ev4innovations/images/ev_4innovations_im_03.jpg, http://www.deutsches-museum.de/fileadmin/Content/Haupthaus/Ausstellungen/Themenpfade/EnergieCO2/Bilder/CD_60288_800x800.jpg | ¹⁹ Für Thermisches Management siehe auch Brotz, F. et al. (2007): „Kühlung von Hochleistungsbatterien für Hybridfahrzeuge“ in: ATZ 12/2007 S. 1156-1162 und Fehrenbacher, C. et al (2009): „Kühlung von Li-Ion Batteriemodulen“ Vortrag auf 2. Fachtagung des VDMA und der Universität Karlsruhe am 18. Feb. 2009



mobilbau fordert ein End-of-Life (80% Restkapazität/DoD) für die Nutzungsdauer eines Fahrzeugs (10 bis 15 Jahren) bei Einsatztemperaturen von etwa 40 °C¹⁹.

Supercaps

Elektrochemische Doppelschichtkondensatoren (auch Ultracaps oder Supercaps) besitzen eine große Oberfläche und eine geringe Dicke des Dielektrikums. Supercaps zeichnen sich insbesondere durch eine wesentlich verbesserte Leistungsaufnahme und -abgabe mit hohen Wirkungsgraden im Vergleich zu Batterien aus und verfügen über eine hohe Zyklenfestigkeit (ca. 500.000 Zyklen). Dem gegenüber stehen hohe Kosten und eine geringe Energiedichte²¹. Supercaps können eine interessante Erweiterung zu bestehenden Li-Ion-Energiespeicher darstellen und eine Unterstützung im „Stop-

and-Go“ bieten, aber auch allgemein bei kurzzeitigen starken Ladevorgängen (Rekuperation) und Entladevorgängen (Boost-Funktion) die Batterie entlasten.

Wasserstoff/Brennstoffzelle

Wasserstoff ist aufgrund seiner hohen Energiedichte in Kombination mit einer Brennstoffzelle eine interessante Energiealternative zur Batterie. Insbesondere für Elektrofahrzeuge, die auf Langstrecken zum Einsatz kommen sollen und/oder ein besonders hohes Gewicht haben. Ein Durchbruch dieser Technologie am Markt setzt allerdings den Aufbau einer entsprechenden Wasserstoff-Infrastruktur voraus (vgl. Kapitel 3.4).

Seit Jahren wird intensive Forschung auf diesem Gebiet betrieben, wodurch bereits große Fortschritte erreicht werden konnten. So werden beispielsweise

Prototypen im Fahrzeugbereich bereits seit Jahren am Markt getestet. Eine Vielzahl von Herstellern führt bereits Kleinserienversuche durch (Daimler Nekar, Honda Clarity, etc.). Ein Großserienstart ist aus verschiedenen Gründen bisher nicht realisiert. Dazu zählen neben technologischen Aspekten insbesondere infrastrukturelle und wirtschaftliche Gründe.

Für weiterführende Informationen zum Thema Brennstoffzelle wird auf eine bereits existierende Studie der WRS und der Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg verwiesen.²²

Unterer Punkt	Idealbereich	Oberer Punkt
-20°C	18°C	60°C
<ul style="list-style-type: none"> – Innerer Widerstand des Elektrolyt steigt – Beschränkte Leistungsabgabe/-aufnahme – Elektrolyt kann einfrieren 		<ul style="list-style-type: none"> – Oxidation und Zersetzung des Elektrolyts (Alterung, Verringerung Lebensdauer, Zyklenfestigkeit, DoD) – Sicherheit (Überhitzung, Kurzschluss, Materialabhängig Thermal Runaway ab +130°C durch Instabilität der SEI Oberflächenpassivierungsschicht)

Abbildung 10: Die Wohlfühltemperatur von Batteriezellen²⁰

20 Vgl. Dr. Tübke, Fraunhofer ICT, Pfinztal | 21 Für weiterführende Informationen wird empfohlen Frost & Sullivan Studie (2008): “Electrochemical capacitors” 25 Sep 2008; Frost & Sullivan Studie (2009): “World ultracapacitor market” 31. Juli 2009 sowie aktuelle Produkte unter http://www.nesscap.com/products_li-neup.htm | 22 http://www.bza-bw.de/files/wertschoepfungskette_brennstoffzellen_09-03-13.pdf - aufgerufen am 26.11.2009

Elektrische Maschine

Die Elektrische Maschine kann den Verbrennungsmotor als Antriebsquelle erweitern und verbessern (Verbesserung des Wirkungsgrades von Verbrennungskraftmaschinen im Teillastbereich bei Hybriden) oder auch komplett ersetzen (bspw. in den Konzepten REEV, BEV, FC). Die Verwendung des Begriffs „Elektrische Maschine“ ist angebracht, da die meisten Elektroantriebe sowohl als Motor wie auch als Generator zur Energierückgewinnung betrieben werden können. Aufgrund seiner Drehmomentcharakteristik eignet sich der Elektromotor hervorragend für einen Einsatz als Antriebsmotor in Fahrzeugen, welche maßgeblich im niedrigen Geschwindigkeitsbereich bis 70 km/h betrieben werden: Das maximale Drehmoment steht bereits ab Drehzahl 0 zur Verfügung, es bleibt bis zu einer gewissen Drehzahl konstant und sinkt dann erst ab (Feldschwächebereich). Deshalb kann sowohl auf eine Kupplung und prinzipiell auch auf ein Getriebe verzichtet werden. Weitere Vorteile sind der hohe Wirkungsgrad (bis 95%), die Robustheit, die hohe Lebensdauer, geringe Wartungskosten, eine gute Skalierbarkeit und die relative Geräuscharmheit. Darüber hinaus kann der Motor eine gewisse Zeit auch über der eigentlichen Nennleistung (Überlastbereich) betrieben werden, ohne Schaden zu nehmen. Die verschiedenen Ausführungsformen seien nachfolgend skizziert²³.

- Gleichstrommaschinen werden aufgrund ihrer Leistungskennzahlen, Platzbedarf und einfachen Regelung hauptsächlich für Komfortfunktionen eingesetzt. Abnutzungen ergeben sich an den Kohlebürsten, mit deren Hilfe der Gleichstrom in die Spule geleitet wird.
 - Asynchronmaschinen AM (auch Induktionsmotor) und permanentmagneterregte Synchronmaschinen PSM finden Einsatz in hybriden und rein elektrischen Antriebsvarianten. Aufgrund der höheren Dynamik, der Leistungsdichte und der kleineren Abmessungen werden meist dreiphasige Maschinen (AM, PSM) für Hybride und rein elektrische Antriebsvarianten eingesetzt. Ein Wechselrichter wird benötigt, der die drei phasenverschobenen Wechselspannungen erzeugt. Dieser Dreiphasenwechselstrom wird auch als Drehstrom bezeichnet. Die Phasen sind jeweils 120° zueinander verschoben. Der Name des AM ist darauf zurückzuführen, dass die erreichte Umlaufgeschwindigkeit niemals die Netzfrequenz des Drehstroms erreicht. Das erreichte Drehmoment ist proportional zur Differenz (Schlupf) der Umlaufgeschwindigkeit zur Netzfrequenz. Der AM kommt ohne Schleifkontakte aus. Asynchrone Maschinen finden auch Einsatz zur Steuerung von Nebenaggregaten.
 - Die PSM ist die am weitesten verbreitete Variante. Neben dem PSM, dessen Läufer mit Permanentmag-
- neten versehen ist, kommen bei größeren Synchronmotoren (ähnlich zum Gleichstrommotor) auch Erregerwicklungen zum Einsatz, die über Schleifkontakte mit Strom versorgt werden.
- Die Reluktanzmaschine (ebenfalls 3-phasig) wird allgemein als interessante Alternative zur Asynchronmaschine gesehen (einfacher Aufbau, sehr robust und einfache Stromrichter ausreichend), allerdings ist der Scheinleistungsbedarf signifikant größer. Der Rotor besteht aus weichmagnetischem Material; Permanentmagnete finden keinen Einsatz.
 - Die Transversalfeldmaschine besitzt gute Eigenschaften hinsichtlich Wirkungsgrad, Anfahrmoment, Feldschwächeeigenschaften und Bauvolumen, allerdings auch Nachteile wie Mehraufwand an Wechselrichterleistungen, kompliziertem Gesamtaufbau und Ausführung als Einphasenmaschine. Der Entwicklungsstand des Motortypen ist allerdings noch nicht bei Serienreife angelangt.



Abbildung 11 liefert einen Überblick über die Eigenschaftsausprägung verschiedener Typen elektrischer Maschinen²⁴:

Die geringe Baugröße und Flexibilität der Anbindung ermöglicht eine Vielzahl neuer Konzepte für die Positionierung der elektrischen Maschine im Fahrzeug und damit neue Fahrzeugarchitekturen. So ist beispielsweise eine zentrale Anordnung vergleichbar mit

heutigen Verbrennungsmotoren ebenso möglich, wie eine Aufteilung der Antriebsleistung auf zwei kleinere Motoren an Vorder- und Hinterachse, bis hin zu vier Radnabenmotoren in den Rädern des Fahrzeugs (Beispiel: Active Wheel von Michelin). Radnabenmotoren bieten zahlreiche Vorteile, wie eine radselektive Ansteuerung von Zusatzfunktionen (z.B. Torque Vectoring oder ESP ohne komplexe Zusatzsysteme),

gute Gewichtsverteilung, große Freiheiten für Automobilkonzepte und eine aufgeteilte Bremsenergieerückgewinnung an allen vier Rädern. Allerdings sind noch einige Herausforderungen z.B. im Hinblick der Problematik der ungefederten Masse insbesondere im höheren Geschwindigkeitsbereich zu lösen.

	Gleichstrommaschine	Asynchrone Induktionsmaschine	Permanentmagneterregte Synchronmaschine	Reluktanzmaschine	Transversalflussmaschine
Leistungsdichte	+	+	++	++	++
Max. Drehzahl	--	++	++	++	--
Wirkungsgrad	--	+	++	+	++
Kosten	+	++	+	++	-
Entwicklungsstand	++	+	0	0	-
Zuverlässigkeit	+	++	+	++	+
Überlastbarkeit	+	+	+	+	+
Kühlungsaufwand	--	+	++	++	+
Regel-/Steuerbarkeit	++	0	+	++	++
Geräuschpegel	-	+	+	+	+
Fertigungsaufwand	-	++	+	++	0
Volumen	-	+	++	+	+
Gewicht	-	+	++	-	+
Beispiele	Toyota Prius Honda Insight	Tesla Roadster GM Volt	Mitsubishi i MiEV BYD e6		
Aktuelle Bewertung	0	++	++	+	--
Fazit	Einsatz bei Komfortfunktionen möglich	Sehr positive Eigenschaften	Sehr positive Eigenschaften, bereits weite Verbreitung	Interessante Alternative zur AM, allerdings wenig Vorzüge dazu	Noch nicht großserienreif

Abbildung 11: Vergleich der verschiedenen Arten von elektrischen Maschinen^{25 26}

23 Freialdenhoven, A. (2009): „Wie reagiert die Automobil- und Zulieferindustrie auf die Herausforderung Elektromobilität?“ In: Erdmann, G. Herausforderung Elektromobilität (2009) und Mathoy, A. (2008): „Die Entwicklung bei Batterien und Antriebstechnik für Elektroautomobile“ Brusa Bulletin SEV/VSE 1/2008 | 24 <http://www.energie.ch/themen/industrie/antriebe/> | 25 Eigene Darstellung | 26 Gies, S. (2008): „Unkonventionelle Fahrzeugantriebe“ Schriftenreihe Automobiltechnik, Vorlesungsumdruck, RWTH Aachen

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

Elektronik/Leistungselektronik und Steuerung

Das Leistungselektronikmodul besitzt die Aufgabe die elektrische Maschine mit dem Energiespeicher Batterie zu verbinden. So muss die Energie der Batterie (Gleichstrom, momentan bis ca. 400V, 700V in Diskussion) für den Betrieb eines Synchron-Elektromotors umgewandelt werden, da für das Ansteuern des Motors eine variable Wechselfrequenz (Stromrichter) in einer variablen Frequenz (Drehzahlregler) zur Drehzahlstellung benötigt wird, wie in Abbildung 12 dargestellt wird. Ein Gleichstrommotor benötigt hingegen lediglich einen Gleichstromwandler.

Neben der Regelung des Antriebs kann auch die Rekuperation, bzw. der Ladevorgang über die Leistungselektronik

dargestellt werden. Auch die Reduktion der Spannung einer Hochvolt-Batterie auf das Niedervolt-Bordnetz mit 12V, beispielsweise in einem Hybridfahrzeug, übernimmt die Leistungselektronik (Spannungswandler). Sie stellt damit eine bedeutende Komponente mit Einfluss auf Wirtschaftlichkeit und Effizienz des Elektrofahrzeugs dar.

Getriebe

Aufgrund der Drehmomentcharakteristik eines Verbrennungsmotors benötigen herkömmliche Fahrzeuge Kupplung und Getriebe. Effizienz- und Komfortoptimierungen haben diese sehr komplex und teuer werden lassen, dafür bieten aktuelle Achtgang-Automatiken oder Doppelkupplungsgetriebe

keine Komfort-Nachteile mehr gegenüber stufenlosen Getrieben (bspw. CVT Continuously Variable Transmission). Die Integration eines zusätzlichen Elektromotors bei leistungsverzweigten und parallelen Hybriden führt zu einer weiteren Komplexität im Antriebsstrang und des Getriebes. Bei den Automobilherstellern kommen unterschiedliche Lösungsansätze zur Zusammenführung des Elektrischen Antriebs und Verbrennungsmotors zum Einsatz: Toyota setzt ein einzelnes Planetengetriebe ein, BMW, Daimler und GM hingegen verwenden zwei Planetengetriebe, Kupplungen und Bremsen. VW, Audi und Porsche positionieren den Elektromotor zwischen Kupplung und konventionellem Automatikgetriebe.

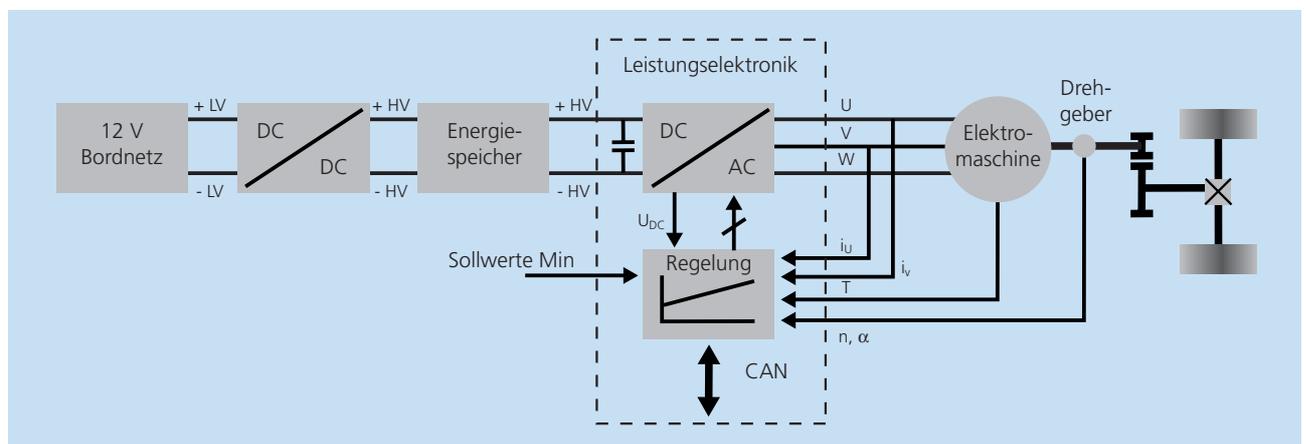


Abbildung 12: Mögliche Topologie Leistungselektronik mit HV-Batterie und NV-Bordnetz ²⁷



Da Elektromotoren weder für das Anfahren noch für die Höchstgeschwindigkeit eine Getriebeübersetzung benötigen, weisen aktuelle batterieelektrische Fahrzeuge und Ankündigungen maximal einfache und damit kostengünstige Lösungen auf. Durch einen Verzicht auf die Getriebekomponente, wird nicht nur mit einer Kostenreduktion, sondern auch mit einer Wirkungsgraderhöhung des gesamten Antriebs gerechnet.

Ladegerät

Um ein Plug-In Fahrzeug über das Stromnetz laden zu können ist ein Ladegerät notwendig. Das Ladegerät kann entweder im Fahrzeug (On-board Charging) installiert (bisher geläufige Ausführung), oder als externes Gerät in

der Ladesäule verbaut sein (Off-board-Charging). Das Off-board-Charging wird meist bei der Schnellladung eingesetzt. Hierbei wird beispielsweise bereits in der Ladestation Gleichstrom für die Batterie erzeugt. Preise für die regulären Ladegeräte liegen in der Kleinserie bei bis zu 600 €/kW. Für ein Ladegerät eines BEV mit etwa 7,4 kW ergeben sich damit Kosten von bis zu 4000 €. Ein Ladegerät für einen üblichen Haushaltsanschluss (16A bei 230V) mit ca. 3 kW beläuft sich auf 1800 €. Sogenannte „Integrated Chargers“ nutzen die vorhandene Infrastruktur an Spannungsrichtern und Wandler im Fahrzeug für den Ladeprozess aus und erreichen deutlich geringere Kosten. Die Kosten für die beschriebenen Gleichstrom-Schnellladegeräte liegen dagegen bei über 10.000 €.

Nebenaggregate

In heutigen Verbrennungsmotoren werden die Nebenaggregate nahezu ausschließlich mit konstanter Übersetzung zur Kurbelwelle betrieben. Die energetische Versorgung dieser Komponente muss gewährleistet und bei einer Gesamtbetrachtung berücksichtigt werden. Sie beträgt 20-25% der mechanisch verrichteten Arbeit und damit etwa 7% der Gesamtenergie eines Fahrzeuges²⁹.

Es ist momentan eine Vielzahl von Nebenaggregaten zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit des Verbrennungsmotors (Schmierölpumpe, Kühlmittelpumpe, Kraftstoffförderer, Kühlerventilator, mechanisches Aufladegerät) oder der Realisierung einer Abgasreinigung (Sekundärluftpumpe, Katalysatorvorheizung) notwendig.



ZF 8-Gang-Automatik für Vollhybrid

Mercedes 7-Gang-Automatik für Mildhybrid u.a. S400 Hybrid

Getrag 1-Gang Getriebe für BEV

Abbildung 13: Die Komplexität des Getriebes variiert mit dem Antriebskonzept²⁸

27 Eigene Darstellung | 28 http://www.zf.com/media/media/img/corporate/press/press_kits/iaa_2009/iaa2009_3-01_2_8HP-hybrid_zf.jpg, http://www.auto bild.de/artikel/fahrbericht-mercedes-s-400-hybrid_900817.html, <http://www.getrag.de/> | 29 <http://www.gke-consulting.de/downloads/energiekfz.pdf>, sowie Friedrich, H. (2007): „Taugt das 1-Liter-Auto als Vorbild für die Massenmotorisierung“; Vortrag DLR Schweiz, Villingen, 22. Juni 2007 erhältlich unter http://ccem-ch.web.psi.ch/documents/energie_trialog/Friedrich_Praesentation_EM_07.pdf

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

Diese werden bei batterieelektrischen Fahrzeugen nicht benötigt. Allerdings werden durch den Verbrennungsmotor auch weitere Aggregate angetrieben, auf die man im batterieelektrischen Fahrzeug nicht verzichten kann bzw. möchte, wie beispielsweise die Lenkhilfspumpe, der Klimakompressor, die Vakuumpumpe für die Bremskraftverstärkung, das ABS, das ASR und die Niveauregulierung. Bei Wegfall des Verbrennungsmotors sind diese Komponenten entweder zu elektrifizieren oder es müssen elektrische Hilfsmotoren eingesetzt werden, welche anforderungsgerecht eingesetzt und verbrauchsoptimiert betrieben werden können. Innovationen sind beispielsweise bei Lenkungssystemen (Elektromechanische Lösungen, „Steer-by-Wire“-Konzepte), Bremssystemen (Elektrohydraulische Bremse [in Serie], „Brems-Blending“ als Kombination Rekuperation über den Generator sowie Reibbremssysteme [in Serie], elektromechanische Bremse [bisher nur Prototyp]), Innenraumklimatisierung (Einsatz von PTC-Luftheizer oder PTC-Wasserheizer [in Serie bei Dieselfahrzeugen im Niederspannungsbereich]) gefragt.

Zu berücksichtigen bleibt, dass die gesamte benötigte Energie für die Nebenaggregate über die Hauptbatterie des Fahrzeugs bezogen werden muss. Dies mindert die für die reine Fahrt zur Verfügung stehende Energie und damit die Reichweite in erheblichem Maße (bis zu 20%).

Karosserie/Fahrzeugpackage

Für die bisherigen Feldversuche und Kleinserien haben die meisten großen Fahrzeughersteller den Ansatz verfolgt, bestehende Serienfahrzeuge zu hybridisieren oder zu elektrifizieren (Smart ED, Mini E, etc.). Dieses Vorgehen wird als weniger risikoreich und Kosten begrenzend eingestuft. Eine Vielzahl an Komponenten kann übernommen werden (insbesondere die Karosserie, Innenraum sowie das Fahrwerk), laufende Prozesse bleiben aufrechterhalten und vorhandene Technologien und Konzepte können weiterentwickelt werden. Dieser evolutionäre Ansatz wird als „Conversion Design“ bezeichnet. Hiervon zu unterscheiden sind die „Purpose Design“ Elektrofahrzeuge, welche speziell für den Elektroantrieb ausgelegt worden sind. Sie zeichnen sich meist durch eine eigene Entwicklungsplattform, spezifischen Leichtbau und eigenen Batteriebaureaum aus. Beispiele hierfür finden sich inzwischen auch in den Ankündigungen der Automobilbauer (Chevrolet Volt, Nissan Leaf). Die Struktur des konventionellen Antriebsstranges hat das Erscheinungsbild der heutigen Fahrzeuge maßgeblich geprägt. Durch den Übergang zu batterieelektrischen Fahrzeugen ergeben sich nun Freiräume für und Anforderungen an eine neue und angepasste Gestaltung des Gesamtfahrzeugs (Beispiel Radnabenmotor). Nur durch ein angepasstes Design können die Potenziale des neuen Antriebs optimal genutzt werden.

Verbrennungsmotor

Weitgehend einhellig wird unter Experten der Verbrennungsmotor als die dominierende Technologie für die nächste(n) Dekade(n) gesehen. Er findet sowohl in klassischen Verbrennungsfahrzeugen, als auch in Hybriden Einsatz. Es wird davon ausgegangen, dass weiterhin viel Entwicklungsaufwand in diese Technologie investiert wird. Entwicklungen in diesem Bereich zielen momentan insbesondere auf eine CO₂-Emissionsoptimierung und Reduktion des Kraftstoffverbrauchs. Es wird von Einsparpotentialen in Höhe von 20% - 30% ausgegangen.³⁰ Maßnahmen und Ansätze zum Heben dieses Potenzials finden sich in unterschiedlichen Bereichen. Die Komplexität der Verbrennungssysteme und auch die Kosten für die Module werden durch diese Optimierungsmaßnahmen steigen. Die technologischen Entwicklungslinien der Verbrennungsmotorentwicklung lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

- Downsizing der Motorgröße mit Turbolader
- GDI Benzindirekteinspritzung
- Start-Stopp-System
- Variabler Ventiltrieb (VVTL: Variable Valve Timing and Lift)
- Reduzierung der Motorreibung
- Sonstige Verfahren: Combined Combustion (Diesotto), HCCI, CAI
- Sonstige CO₂-Optimierungen: Elektronik, Zylinderabschaltung

Zahlen und Fakten

Anzumerken bleibt: Als Gegenstück zur elektrischen Maschine bei Hybridfahrzeugen sind neben dem aktuell fokussierten Einsatz eines klassischen Verbrennungsmotors auch weitere Alternativkonzepte möglich.

Beispielsweise seien genannt: Wankelmotor, Gasturbine (aufgrund Motorgröße allerdings kritisch beurteilt) sowie ein modifizierter Wasserstoff-Verbrennungsmotor.

Bestehendes Spannungsfeld bezüglich Energie- und Leistungsdichte bei Batterien als Energiespeicher: Für eine hohe Reichweite benötigt man Batterien mit hoher Energiedichte. Für eine schnelle Beladung oder auch starke Beschleunigung benötigt man Batterien mit hoher Leistungsdichte.

Lithium-Ionen Batterien unterliegen bei ihrer Energiedichte gegenüber Benzin etwa um Faktor 80. Gegenüber Wasserstoff um Faktor 240.

Consumer Zellen werden dauerhaft keinen Einsatz im Automobil finden

Batteriezellen besitzen sowohl einen oberen (etwa 60°C), als auch unteren Einsatzbereich (etwa -20°C).

SuperCaps könnten eine interessante Ergänzung zur High Energy Batterie darstellen.

Verbrennungsmotoren besitzen weiteres CO₂-Reduktionspotenzial. Dieses liegt zwischen 20% und 30%.

Fokussierung bei Antriebsmaschinen momentan auf Asynchrone Induktionsmaschine, sowie Permanentmagneterregte Synchronmaschine.

Radnabenmotoren stellen eine interessante Ausführung mit vielfältigen Vorteilen dar.

Elektrische Maschinen besitzen auch Potential bei der Elektrifizierung einer Vielzahl weiterer Komponenten.



Abbildung 14: Conversions-Design (BMW-Mini) vs. Purpose-Design (Chevrolet Volt)³¹

30 Experteninterview Dr. Wöhl (VDA) vom 23.11.2009

31 <http://www.emfm.de/emobile/e-mini/index.htm> und <http://www.carbodydesign.com/gallery/2007/01/10-chevrolet-voltconcept/13/>

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

	Verbesserungspotenzial	Mögliche Wegbereiter
Energiespeicher	<ul style="list-style-type: none"> – Verringerung von Kosten – Verringerung des Gewichts – Sicherheit – Größere Energie- und Leistungsdichte – Lebensdauer/ Zyklenbeständigkeit – Materialentwicklung/ Systementwicklung 	<ul style="list-style-type: none"> – Sicherheit (Neue Elektroden: Anode (TiO₂, Metalllegierungen), Kathode (LiMn₂O₄, LiFePO₄, LiFeO), Separator (keramisch), Elektrolyt (Polymere Elektrolyte, ionische Flüssigkeiten, keramische Elektrolyte, Redox Shuttle) – Größere Energie- und Leistungsdichte (Neue Elektrodenmaterialien, Separatoren, Elektrolyte, Nanopartikelelektroden, Nanostrukturierte Elektroden) – Verringerung der Kosten (Neue Elektroden: Anode (TiO₂), Kathode (LiMn₂O₄, LiMePO₄), Umsetzung neuer Konzepte (open cell system mit hoher Energiedichte Lithium-Sauerstoff, Lithium-Schwefel Batterie) – Belegung alternativer Konzepte (bspw. Redox-Flow-Zelle) – Ersatz für seltene oder giftige Materialien wie Cobalt und Nickel – Neue Bauformen (bspw. bipolarer Aufbau für Hochleistungssysteme) – Thermisches Management
Batterielade-Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> – Standardisierung – Ladekonzepte 	<ul style="list-style-type: none"> – Neue Geschäftsmodelle – Kostenoptimierung – Verbesserung der Infrastruktur
Elektromotor	<ul style="list-style-type: none"> – Kostenoptimierung – Robustheit – Effizienzoptimierung – Funktionsintegration 	<ul style="list-style-type: none"> – Neue Materialien/Beseitigung der Abhängigkeit von teuren, seltenen Materialien (Neodym, Dysprosium, Kupfer, etc.) – Konzeptentwurf für Großserienproduktion (Abstimmung technisches Layout und Materialien) – Integration ins Gesamtkonzept des Fahrzeugs – Betriebsstrategien der Elektrischen Maschine, Fahrsituations- und fahrstreckenabhängige Anpassung, Intelligente Steuerung der Nebenaggregate – Multi-kriterielle Optimierung (Kosten, Energieeffizienz, Zuverlässigkeit, Leistung) des Gesamtsystems
Elektrische Komponenten (elektrische Maschine, Konverter, Regelstrategien, Hochvoltssysteme)	<ul style="list-style-type: none"> – Effizienzoptimierung – Kostenminimierung – Robustheit – EMV – Leistungsdichte 	<ul style="list-style-type: none"> – Neue Halbleiterbauelemente (RC-IGBT, angepasste Metallisierung, robustes Ansteuer-IC) für Einsatz im Hochfrequenz-, Hochleistungs- sowie Hochtemperatur Bereich – Robustes Leistungsmodul (Temperaturzykelfeste Aufbau- und Verbindungstechnologien, Low-CTE Verbundstoffe, Laserschweißen, Integration Logik-Leistung, Modulintegration, Zuverlässigkeitstest und -modelle) – Systemintegration (EMV-Konzepte, Software-Integration, Elektrischer Achsantrieb) – Spannungswandler (optimierte Bordnetzwanandler) – Thermisches Management und selektive Kühlstrategien und Integration von Kühlkomponenten in (Sub)Systeme
Verbrennungskraftmaschine (auch als Range Extender Ausführung)	<ul style="list-style-type: none"> – CO₂-Optimierung 	<ul style="list-style-type: none"> – Downsizing der Motorgröße mit Turbolader – GDI Benzindirekteinspritzung – Start-Stopp-System – VVTL Variable Valve Timing and Lift: Variabler Ventiltrieb – Reduzierung der Motorreibung – Sonstige Verfahren: Combined Combustion (Diesotto), HCCI, CAI – Sonstige CO₂-Optimierungen: Elektronik, Zylinderabschaltung
Gesamt-Fahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> – Gewicht – Kosten – Sicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> – Leichtbau – Materialforschung – Integration der Batterie – Neue Prozesse in der Produktentstehung anstelle der klassischen Hybridisierung

Abbildung 15: Potenziale und Entwicklungslinien der Komponenten³²

32 Eigene Darstellung



Prognosen und Meinungen – Expertengespräche

2.1.3 Aktuelle Entwicklungsschwerpunkte

Wie beschrieben, stellt insbesondere die Batterie momentan den limitierenden Faktor für eine Diffusion der Elektromobilität dar. Hier müssen vor allem die Kosten reduziert sowie die Energiedichte erhöht werden. Neben dem Energiespeicher besteht allerdings auch bei anderen Themen weiterer Entwicklungsbedarf. Abbildung 15 soll hierzu einen Überblick liefern.

Das Volumen reiner E-Fahrzeuge wird auch bis 2020 überschaubar bleiben, da die Technologie noch nicht reif für die Serie erscheint. Die Technologieentwicklung braucht Zeit.¹

Der Reifegrad der Technologie in Bezug auf eine industrielle Produktion ist noch gering, aber technisch gesehen sind elektrisch angetriebene Fahrzeuge bereits heute darstellbar, wenn auch zu teuer.²

Neben der technischen Verwirklichung müssen unbedingt auch die Mobilitätsbedürfnisse und das Akzeptanzverhalten der Nutzer berücksichtigt werden.²

In den kommenden beiden Jahrzehnten wird der Diesel- und Ottomotor die Mobilität sicherstellen. Es kommt zu einem Verbesserungswettbewerb zwischen den Antrieben.³

Es gibt eine Fächerstrategie der Automobilindustrie: Steigerung der Effizienz heutiger Motoren, ergänzend Biokraftstoffe und andere alternative Kraftstoffe sowie Hybride, langfristiges Ersetzen durch Elektromobilität/Wasserstoff.³

Innovationen werden hauptsächlich „von unten“ kommen. Technologieführer werden zunächst KMU sein.⁴

Die Technologie-Entwicklung der Batterie steht erst am Anfang.⁵

Die Brennstoffzelle darf nicht vergessen werden. Manche Technologien benötigen teils viel Zeit zur Umsetzung.⁵

Es sollte nicht alles auf „1 Karte“ gesetzt werden, da eine Vielzahl von Konzepten interessant und evolutionär eingesetzt und entwickelt werden kann.⁵

Im Bereich des Verbrennungsmotors werden durch den Trend des downsizing zwar weniger Komponenten (Pleuel, Kolben etc.) im Fahrzeug verbaut, in Summe steigt allerdings die Technologisierung, es werden also auch neue Komponenten benötigt (Direkteinspritzung, Turbolader, Technologien zur Reibungsreduktion etc.).⁶

Ziel ist es, hier neue Li-Ionen Flachzellen, speziell für Traktionsbatterien für den Automobilbereich herzustellen und nicht auf Dauer auf Consumer-Batterien bzw. deren Zellen zurückzugreifen.⁶

Es sollten Erfahrungen gesammelt werden bezüglich der Akzeptanz, den Kundenanforderungen und bezüglich des Batterieerhaltens (Kapazität, Alterung nur eingeschränkt im Labor zu testen).⁶

Zielsetzung muss sein, den Elektroantrieb in 20 Jahren auf dasselbe preisliche Niveau wie den verbrennungsmotorischen Antrieb oder darunter zu bringen.⁷

Referenz: 1 Experteninterview Dr. H. Döring (ZSW) vom 24.11.2009 | 2 Experteninterview Dr. L. Jörissen (ZSW) vom 13.11.2009 | 3 Experteninterview Dr. S. Wöhl (VDA) vom 23.11.2009 | 4 Experteninterview Prof. Dr. F. Pautzke (HS Bochum) vom 25.11.2009 | 5 Experteninterview Dr. W. Begemann (VDMA) vom 09.11.2009 | 6 Experteninterview Dr. T. Behr (Daimler) vom 16.11.2009 | 7 Interview mit Experte aus der Forschung vom 11.11.2009

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

2.2 Heutige Märkte und Marktszenarios

Die Bundesregierung hat es sich zum Ziel gesetzt, im Jahr 2020 eine Anzahl von 1 Million zugelassenen Elektrofahrzeugen auf Deutschlands Straßen zu erreichen. Wie sich diese eine Million Fahrzeuge auf batterieelektrische, Hybrid- oder Brennstoffzellenfahrzeuge aufteilen soll, wird allerdings nicht näher definiert. Bis zum Jahr 2030 soll diese Zahl an nicht näher spezifizierten Elektrofahrzeugen auf über fünf Millionen angewachsen sein. Bis 2050 soll der Verkehr in Städten schließlich überwiegend ohne fossile Brennstoffe auskommen.³³

2.2.1 Szenarios der Marktentwicklung

Szenarios für die Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen sind eine wichtige Planungsgrundlage für die Industrie und die Politik. An veröffentlichten Szenarios herrscht auch kein Mangel. Dabei weisen viele Studien seriöser Weise explizit darauf hin, dass es aufgrund zahlreicher und unvorhersehbarer Einflussfaktoren heute nicht möglich ist, eine verlässliche Einschätzung für die nächste Dekade und darüber hinaus zu geben. Um die Varianz der möglichen Entwicklungen aufzuzeigen, werden häufig Szenarios mit einer positiven und einer neutralen oder negativen Entwicklung dargestellt. In ihren Szenarios zeigt die Boston Consulting Group (BCG) beispielsweise eine Spanne von 1% bis 12% Anteil der batterieelektrischen Fahrzeuge an den Neuzulassungen in Europa im Jahr 2020 auf. Der zentrale Einflussfaktor ist hier der Ölpreis, der je nach Szenario mit 60 \$/Barrel bzw. 300 \$/Barrel zugrunde gelegt wird. Bei einem Ölpreis von 150 \$/Barrel geht BCG von einem Anteil 3% batterieelektrischer Fahrzeuge aus.³⁴ Auch bei McKinsey hat der Anteil der Neuzulassungen batterieelektrischer Fahrzeuge in Europa eine Spannweite von 3% (Szenario 60) - 16% (Szenario 110). Im Szenario 60 wird mit einem Ölpreis von 60 \$/Barrel und einem Batteriepreis von 400 \$/kWh kalkuliert während im Szenario 110 von einer Reduzierung der Batteriepreise auf 280 \$/kWh und einem

Ölpreis von 110 \$/Barrel ausgegangen wird.³⁵ Die Einflussfaktoren auf die Marktentwicklung sind damit mindestens ebenso wichtig bei der Betrachtung der Marktentwicklung von E-Fahrzeugen wie die Zahlen selbst.

Als mögliche Einflussfaktoren auf den Szenarioverlauf werden hauptsächlich die Gesamtkosten der Fahrzeugnutzung (TCO: Total Cost of Ownership), regulatorische Rahmenbedingungen und Vergleichskosten von Alternativen angeführt. Der Ölpreisentwicklung wird übergreifend eine zentrale Rolle beigemessen. Der Ölpreis beeinflusst maßgeblich die TCO des Verbrennungsfahrzeuges und damit die Attraktivität der Alternative E-Fahrzeug. Eine detaillierte Erläuterung des TCO Ansatzes und der Auswirkungen eines veränderten Ölpreises finden sich im nächsten Kapitel 2.2.2.

Die Kostendegression der Batteriepreise wird in vielen Arbeiten aufgenommen. Diese setzt Annahmen bezüglich der technologischen Entwicklung und Produktionsvolumen der Zellen voraus. Der Batteriepreis beeinflusst die TCO des Elektrofahrzeugs maßgeblich und damit die Akzeptanz am Markt. Teilweise werden auch Verkehrs-, Energie- und Klimapolitik der Länder und das Mobilitätsverhalten berücksichtigt. Verschärfte CO₂-Grenzwerte und Strafzahlungen für Hersteller von Fahrzeugflotten mit hohem CO₂-Ausstoß steigern die Kosten für das Verbrennungsfahrzeug. So hat die Europäische

33 Bundesregierung (2009): „Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität“ | 34 BCG-Studie (2009): „The Comeback of the Electric Car?“ |

35 McKinsey (2009): „Der Trend zu energieeffizienten PKW“



Union mit der Verordnung 2009/443/EG eine stufenweise Absenkung des CO₂-Emissionsgrenzwertes von PKW und kleinen Nutzfahrzeugen bis 2015 auf 130 Gramm CO₂ pro Kilometer (+ Korrekturfaktor um Fahrzeugmasse) im Flottendurchschnitt beschlossen. Ein Überschreiten dieser Grenzwerte wird in Zukunft mit empfindlichen Strafzahlungen geahndet werden. Einen besonderen „Reiz“ erhält die Richtlinie für die Elektromobilität aufgrund des Umstands, dass PKW mit einem CO₂-Ausstoß von unter 50g CO₂/km dreieinhalbmal (2012/2013) bzw. zweieinhalbmal (2014) und anderthalbmal (2015) berücksichtigt werden. Die Elektromobilität wird damit durch vermiedene Strafzahlungen indirekt subventioniert.

Einen positiven Einfluss auf die Marktdiffusion von E-Fahrzeugen werden auch Regulierungen wie beispielsweise einer City-Maut-Befreiung für Elektrofahrzeuge, kostenlosem Parken für Elektrofahrzeuge, Nutzung der Busspur für Elektrofahrzeuge oder gar dem Einfahrverbot für Verbrennungsfahrzeuge in Stadtkerne zugesprochen. Während in Deutschland solche Maßnahmen bislang lediglich diskutiert werden, sind sie in anderen Ländern teilweise schon umgesetzt (vgl. beispielsweise City-Maut in London oder Busspurnutzung für Elektrofahrzeuge in Norwegen).

Die Reform der Subventionierung in Form eines Zuschusses beim Kauf eines Elektrofahrzeugs hätte ebenfalls – die Umweltprämie im Rahmen des Kon-

junkturprogramms II hat es gezeigt – eine große, allerdings zeitlich befristete Kaufanreizwirkung zugunsten von Elektrofahrzeugen.

Im Rahmen dieser Studie soll kein weiteres eigenes Szenario über die Marktdiffusion aufgebaut werden, sondern vielmehr in Form einer Meta-Studie die Einschätzungen der veröffentlichten Szenarios über die anteilmäßige Zusammensetzung der Neuzulassungen im Jahr 2020 nach Antriebskonzept verdichtet werden. Die veröffentlichten Szenarios wurden dazu analysiert, wobei deutlich wurde, dass häufig nur eine unbefriedigende Vergleichbarkeit der Studien möglich ist. Eine annähernde Vergleichbarkeit liegt bei den Studien von A.T. Kearney, Boston Consulting Group, Deutsche Bank, Frost & Sullivan, Global Insight, McKinsey, Roland Berger und Shell vor³⁶. Die prozentualen Prognosen für die verschiedenen Antriebsalternativen 2020 wurden gemittelt und stellen das Ergebnis der Metastudie dar. Um absolute Zahlen zu erhalten, wurden Prognosen für den Fahrzeugabsatz 2020 von A.T. Kearney, Boston Consulting Group, B&D Forecast, Global Insight, IEA und McKinsey³⁷ verwendet. Der durchschnittlich prognostizierte Fahrzeugabsatz beläuft sich demnach auf 78,05 Mio. Fahrzeuge weltweit für das Jahr 2020. Dieser wurde als Ausgangswert für die Berechnung der absoluten Absatzzahlen für die verschiedenen Antriebsalternativen gewählt.

Um eine Vergleichbarkeit der Studien darzustellen, wurden die Antriebskonzepte zu Klassen zusammengefasst:

- Diesel, Otto, PNG, LPG, optimierter Verbrennungsmotor sowie Mikrohybrid wurden der Klasse „Otto/Diesel“ zugeordnet.
- In der Kategorie „Hybrid“ wurden alle Aussagen zu Full-Hybrids and Mild-Hybrids integriert.
- Zahlen zu den Bereichen „PHEV“, „REEV“ sowie reinen „BEV“ wurden nur aufgenommen, wenn Sie explizit erwähnt wurden. Erfolgte in Studien eine Zusammenfassung dieser Bereiche, wurden die Zahlen, einem konservativen Ansatz folgend, der Kategorie „PHEV“ zugeordnet.
- In den analysierten Szenarios finden sich keine Zahlen bezüglich der Verbreitung von Brennstoffzellenfahrzeugen im Jahr 2020, welche folglich nicht dargestellt werden.

³⁶ A.T. Kearney Studie (2009) „Powertrain of the future“; BCG-Studie (2009): „The Comeback of the Electric Car?“; Deutsche Bank Studie (2008): „Auto Manufacturing: Electric Cars: Plugged In“; Frost&Sullivan (2009): „360 Degree Analysis of the global electric vehicles market“; Global Insight Vehicle Forecast (2009): „Automobilindustrie bis 2020“; Roland Berger Studie (2009): „Powertrain 2020- The Future Drives Electric“; Shell (2009): „Shell PKW-Szenarien bis 2030“ | 37 A.T. Kearney (2009): „Auto 2020 – Passenger Cars – Expert Perspective“; BCG-Studie (2009): „The Comeback of the Electric Car?“; McKinsey Studie (2009): „Der Trend zu energieeffizienten PKW“, BDW (2009): „ForNew Fuel“; International Energy Agency (2009): „EV/PHEV Roadmap“; Global Insight Vehicle Forecast (2009): „Automobilindustrie bis 2020“ | 38 Eigene Darstellung

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

Einen Überblick über die Ergebnisse der Metastudie bietet Abbildung 16.

Es wird der Studienlage zufolge ein Markt für Elektrofahrzeuge in all ihren Ausprägungsformen entstehen. Allerdings wird auch im Jahr 2020 der reine Verbrennungsmotor mit durchschnittlich etwa 73,4% Marktanteil weltweit und einem gesamten Jahresabsatz von etwa 57,3 Mio. Fahrzeugen die klar dominierende Antriebstechnologie im Gesamtmarkt darstellen. Der rein batterieelektrische Antrieb wird im Jahr 2020 von den analysierten Studien bei durchschnittlich 2,58% der Neuzulassungen (2,01 Mio. Fahrzeuge) gesehen, wobei auffällt, dass in den USA ein stark unterdurchschnittlicher Anteil

von BEV an den Verkaufszahlen relativ zu Asien und Europa erwartet wird. Hybridfahrzeuge (parallel und leistungsverzweigt erreichen einen Anteil von gemittelten 17,8% oder 13,9 Mio. Fahrzeugen und nehmen damit einen bedeutenden Anteil der Neuzulassungen ein.

Fasst man die unterschiedlichen Ausprägungsformen der Elektromobilität zusammen, so ergibt sich für 2020 ein weltweiter Anteil an den Neuzulassungen von 26,6%, was rund 20,7 Mio. Fahrzeugen entspricht. Ein Viertel aller neuzugelassenen Fahrzeuge weltweit werden damit nach Vorhersage der Studien bereits 2020 eine elektrische Komponente im Antriebsstrang haben.

Während der Anteil der Elektrofahrzeuge an den Neuzulassungen eine bedeutende Größe für die Automobilwirtschaft ist, so ist der Anteil der Plug-In Fahrzeuge am Fahrzeugbestand ausschlaggebend für die Energiewirtschaft. Hier sei auf die Szenariostudie des Fraunhofer ISI verwiesen. Das Fraunhofer ISI geht im Pluralismus-Szenario im Jahr 2020 von 0,4 Mio. PHEV und 0,02 Mio. BEV aus, während im optimistischeren Dominanz-Szenario im Jahr 2020 1,5 Mio. PHEV und 0,02 BEV auf Deutschlands Straßen unterwegs sein werden.

Das Ziel der Bundesregierung im Jahr 2020 eine Million (nicht näher spezifizierte) Elektrofahrzeuge auf Deutsch-

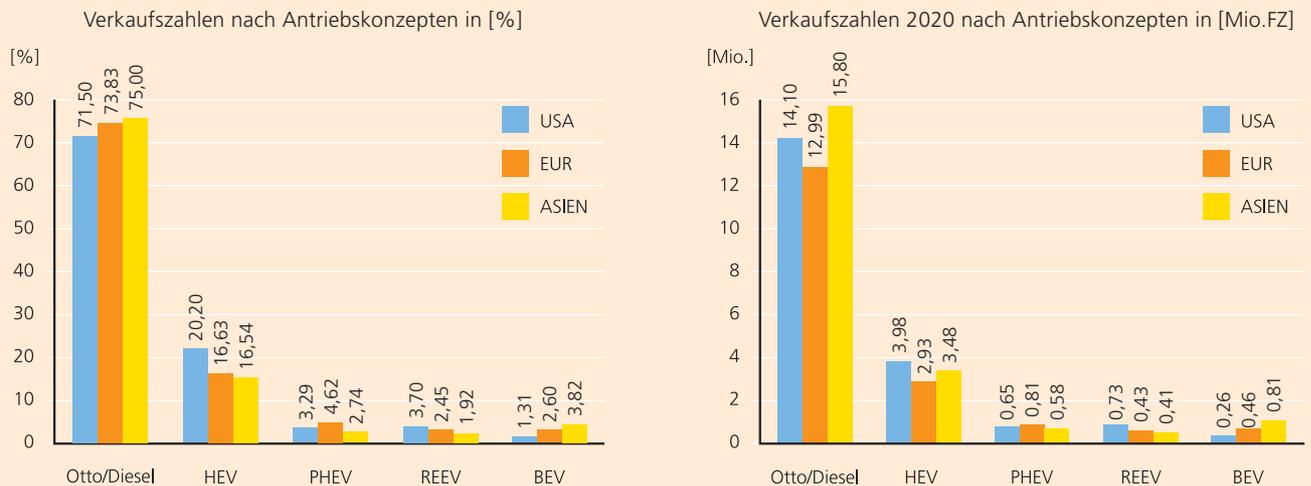


Abbildung 16: Ergebnisse der Metastudie Marktentwicklung Elektromobilität³⁸



lands Straßen anzustreben, ist damit, vorausgesetzt es handelt sich dabei mindestens um Plug-In Fahrzeuge, im Kontext der gesichteten Szenarios als ambitioniert zu bezeichnen.

2.2.2 Total-Cost-of-Ownership Betrachtung

Die Verbreitung elektromobiler Antriebskonzepte hängt stark von deren Wirtschaftlichkeit ab. Gegenüber herkömmlichen verbrennungsmotorbasierten Fahrzeugen verursachen elektromobile Antriebskonzepte in der Herstellung etliche Mehrkosten. Der Grund dafür liegt vor allem in den hohen Kosten für Batterien.³⁹ Nur schwer ist abzuschätzen, wie sich diese zusätzlichen Herstellkosten entwickeln werden. Durch steigende Produktionsvolumina oder weitere Durchbrüche in der Batterietechnologie könnten diese Zusatzkosten drastisch sinken.

Fest steht allerdings, dass Experten auch im Jahr 2020 mit erheblich höheren Anschaffungspreisen für elektromobile Antriebskonzepte rechnen.⁴⁰ Aus Sicht der Kunden spielt allerdings längst nicht mehr nur der Anschaffungspreis eine Rolle. Vielmehr wird die Kaufentscheidung von den Gesamtkosten beeinflusst, die ein Fahrzeug während seiner Haltedauer verursacht. Unter diese sogenannten Total Costs of Ownership (TCO) fallen demnach nicht nur der eigentliche Kaufpreis, sondern auch sämtliche Betriebskosten, wie beispielsweise Kosten für Treibstoff, Strom und Steuern sowie für Versicherung und Wartung. In Abbildung 17 wird erkennbar, dass batterieelektrische Fahrzeuge erst bei einem Ölpreis

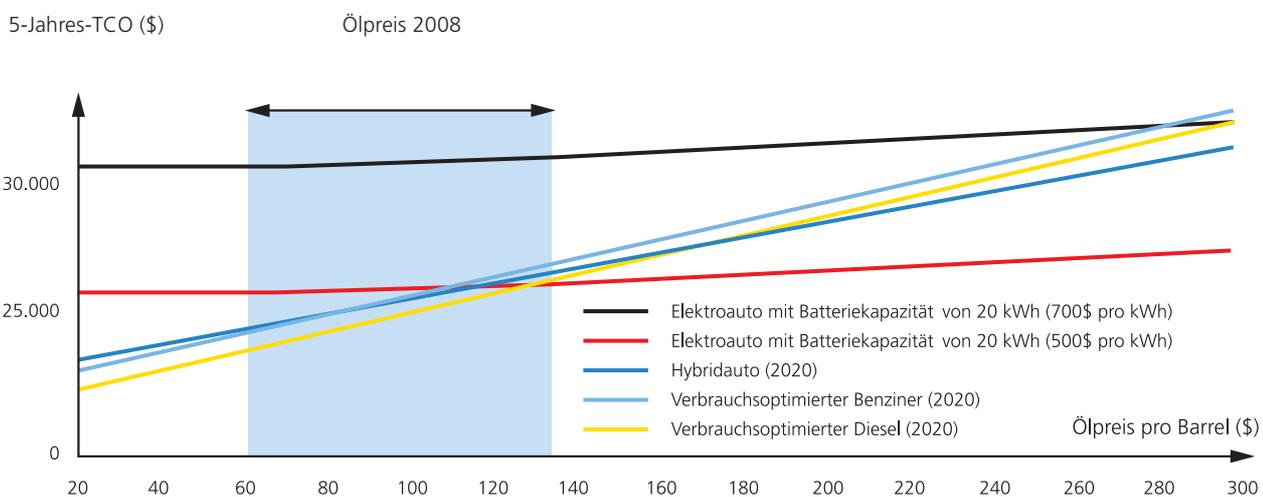


Abbildung 17: 5-Jahres-TCO für 5 verschiedene Fahrzeuge (gekauft in 2020 und gefahren in Deutschland)⁴¹

³⁹ BCG (2009): "The comeback of the electric car"? S.3 ff. | ⁴⁰ ebenda, S.4 ff. | ⁴¹ ebenda, S.5. Annahmen: gefahrene Strecke pro Jahr: 14.500 km und keine Änderungen im Besteuerungsmodell. Die Kalkulation enthält eine Analyse des Wertverlusts des Fahrzeugs, der Benzinkosten, des Stromverbrauch, der Batteriekosten, Mehrwertsteuern und CO₂-basierte Steuern; Versicherungs- und Wartungskosten wurden nicht beachtet.

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

zwischen 100-150 \$ US pro Barrel für den Kunden attraktiver werden als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Allerdings müsste gleichzeitig der Preis für Batterien auf 500 \$ US pro kWh fallen.

Ob es sich für Endkunden wirtschaftlich lohnen wird, ein batteriebetriebenes Fahrzeug anzuschaffen, hängt demnach von mehreren Faktoren ab.⁴² Doch nicht nur die Total Cost of Ownership spielen bei der Entscheidung für den Kauf von elektromobilen Antriebskonzepten eine Rolle. Weitere Faktoren, die dabei entscheidend sind, sind Leistungsdaten, das Image, die Sicherheit, Verlässlichkeit und vor allem die Frage nach der Nutzerfreundlichkeit von Elektrofahrzeugen.⁴³ Maßgebliche Einschränkungen bezüglich der Nutzerfreundlichkeit von batterieelektrischen Fahrzeugen liegen heute in der fehlenden Infrastruktur von „Stromtankstellen“, den langen Ladezeiten von Batterien sowie den kurzen Reichweiten. Heutige batterieelektrische Fahrzeuge wie beispielsweise der iMIEV von Mitsubishi erreichen mit einer Batterieladung Reichweiten von 144 km im EU-Normzyklus. In der Praxis sind wohl eher 100 km realistisch. Laut einer Endkundenbefragung würde diese Reichweite allerdings nur einer Minderheit von 16% der Befragten ausreichen (siehe Abbildung 18)

2.2.3 Zahlungsbereitschaft

In Deutschland steht laut einer aktuellen Umfrage einer erfolgreichen Marktaktivierung von batterieelektrischen Fahrzeugen 2012 bis 2014 zurzeit noch eine Kostenlücke in Höhe

von 3.000 bis 5.000 € entgegen (vgl. Abbildung 19).

Die Hälfte der Endkunden ist laut Marktforschung heute bereit, einen Aufpreis von 1.000 – 2.000 € für ein batterieelektrisches Fahrzeug zu be-

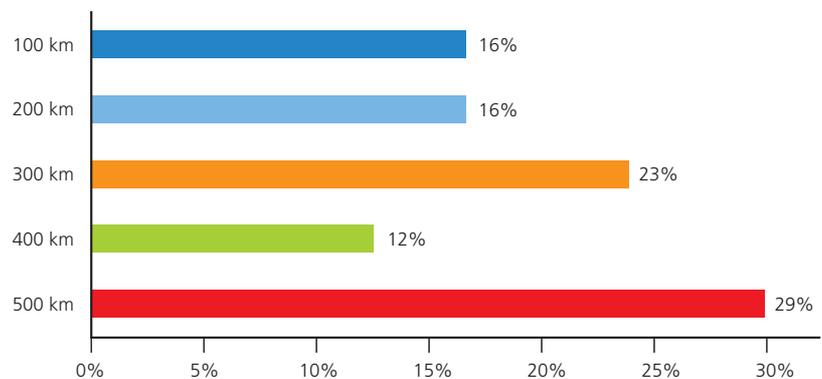


Abbildung 18: Reichweitenanforderungen der Nutzer⁴⁴

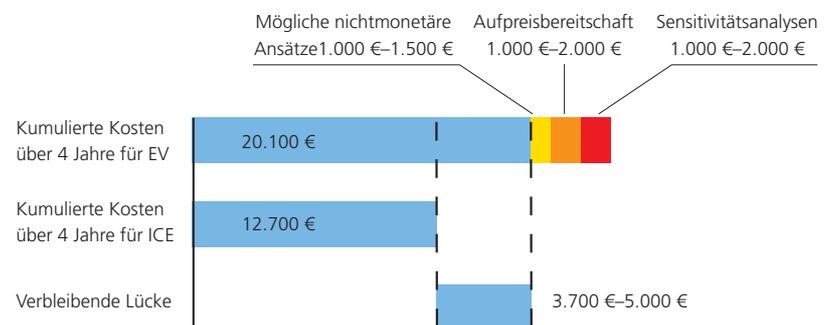


Abbildung 19: Verbleibende Kostenlücke batterieelektrischer Fahrzeuge⁴⁵

42 Beispielsweise auch von Subventionen. Diese werden in Frankreich bereits heute in Höhe von 5.000 € bei der Beschaffung von Elektroautos gewährleistet. Somit werden die TCO eines Fahrzeuges auch bei heutigen Ölpreisen attraktiv. Vgl. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/dossier_de_presse_vehicules_ecologiques_cle097ee4.pdf | 43 A.T. Kearney (2009): „Great Leap Forward or Deja Vu? The alternative energy car landscape for China in 2020“, S. 5 | 44 Autobild (2009): E-Autos ja. Aber bitte ohne Aufpreis. In: Autobild Nr. 42 (2009), S.12 | 45 BMU (2009): „Konzept eines Programms zur Markteinführung von Elektrofahrzeugen“; Annahmen, die getroffen wurden: Wendiges Stadttauto, Durchschnitt des Zeitraums 2012-2014; bei den Sensitivitätsanalysen wurde angenommen, dass nur eine der folgenden Veränderungen eintritt: Ölpreis 150 statt 85 USD/Barrel, Batteriekosten 400 statt 530 EUR/kWh



zahlen.⁴⁶ Diese Aufpreisbereitschaft kann durch zusätzliche, nicht monetäre Anreize noch gesteigert werden, wie beispielsweise durch das Nutzen bestimmter Fahrspuren in Städten oder das Bereitstellen exklusiver Parkplätze für Elektrofahrzeuge. Darüber hinaus ist durch sinkende Batteriekosten oder weitere Einflussfaktoren (wie zum Beispiel übliche Händler Rabatte) ein Einsparpotenzial von 1.000 – 2.000 € zu erwarten.⁴⁷

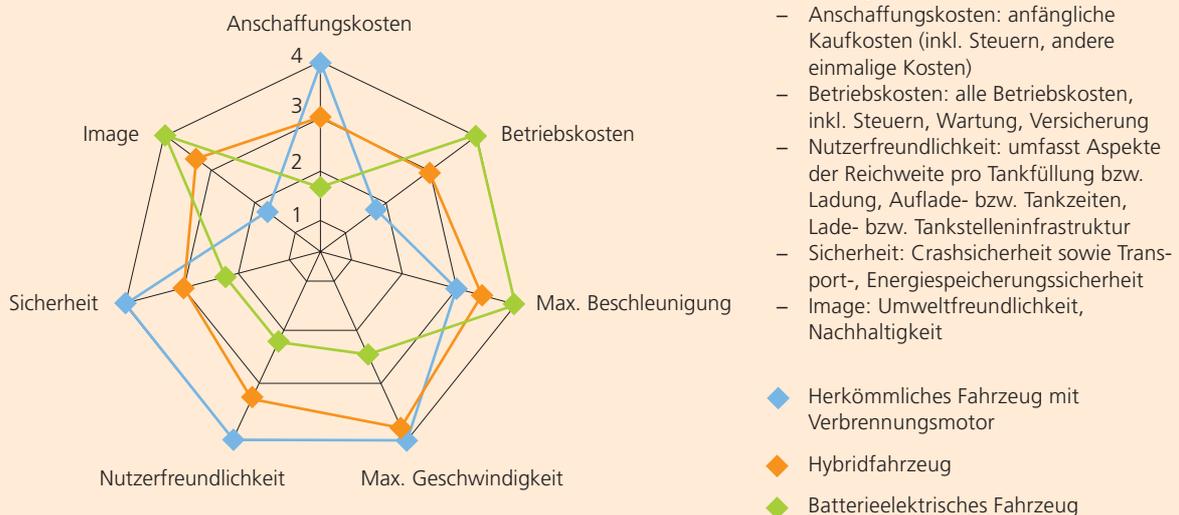
Dennoch verbleibt eine große Zahlungslücke, die einer breiten Einführung von batterieelektrischen Fahrzeugen entgegensteht. Neben nicht-monetären oder monetären Anreizen,

wie Steuersenkungen oder Kaufprämien, muss auch zwingend über nachhaltige, neue Geschäftsmodelle nachgedacht werden.

2.2.4 Neue Geschäftsmodelle

Bei der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle für elektromobile Antriebskonzepte gilt es, gezielt die Nachteile, welche rein elektrisch betriebene bzw. Hybridfahrzeuge gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen haben, zu kaschieren sowie die Vorteile herauszuarbeiten und in den Vordergrund zu stellen (vgl. Abbildung 20).

Die Vorteile von elektromobilen Antriebskonzepten liegen dabei zum Beispiel in niedrigeren Betriebskosten (in erster Linie geringere Kosten für Treibstoff und Wartung) sowie in guten Leistungsdaten. So können mit Elektrofahrzeugen ein hohes Drehmoment bei niedriger Drehzahl und kräftige Beschleunigungen (im unteren Geschwindigkeitsbereich) erreicht werden. Auch in puncto Image kann das batteriebetriebene Fahrzeug punkten: Nachhaltigkeit, lokale Emissionsfreiheit und geringer Geräuschpegel führen zu Imagevorteilen bezüglich herkömmlichen Verbrennern.



Erklärungen:

- Anschaffungskosten: anfängliche Kaufkosten (inkl. Steuern, andere einmalige Kosten)
- Betriebskosten: alle Betriebskosten, inkl. Steuern, Wartung, Versicherung
- Nutzerfreundlichkeit: umfasst Aspekte der Reichweite pro Tankfüllung bzw. Ladung, Auflade- bzw. Tankzeiten, Lade- bzw. Tankstelleninfrastruktur
- Sicherheit: Crashesicherheit sowie Transport-, Energiespeicherungssicherheit
- Image: Umweltfreundlichkeit, Nachhaltigkeit

- ◆ Herkömmliches Fahrzeug mit Verbrennungsmotor
- ◆ Hybridfahrzeug
- ◆ Batterieelektrisches Fahrzeug

Abbildung 20: Vor- und Nachteile unterschiedlicher Antriebskonzepte⁴⁸

oder die bei verbrennungsmotorgetriebenen Fahrzeugen aktuell üblichen Rabatte | 46 ebenda (2009); andere Studien, wie beispielsweise von Frost&Sullivan kommen auf andere Ergebnisse bezüglich der Zahlungsbereitschaft: so sind mehr als 50% der Befragten in den meisten Fahrzeugklassen (außer B&C-Segment) nicht bereit, ein elektrisches Fahrzeug zu kaufen bzw. mehr dafür zu zahlen; Frost&Sullivan (2009): "360 Degree Analysis of the global electric vehicles market", S. 49. | 47 BMU (2009): „Konzept eines Programms zur Markteinführung von Elektrofahrzeugen“, bei den Sensitivitätsanalysen wurde angenommen, dass nur eine der folgenden Veränderungen eintritt: Ölpreis 150 statt 85 USD/Barrel, Batteriekosten 400 statt 530 EUR/kWh oder die bei verbrennungsmotorgetriebenen Fahrzeugen aktuell üblichen Rabatte | 48 Eigene Darstellung

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

Diese Eigenschaften machen Elektrofahrzeuge zum idealen Stadtfahrzeug. Gerade in Ballungsräumen wird der Zielkonflikt zwischen der zwingenden Notwendigkeit der Mobilität von Menschen und Gütern sowie den negativen Auswirkungen des Verkehrs (wie beispielsweise Lärm, Schadstoffbelastung von Mensch und Umwelt sowie Ressourcen- und Raumbedarf) besonders deutlich. Eine bestimmte Marktdurchdringung vorausgesetzt, verspricht die Elektromobilität gerade für Städte enorme Vorteile. Elektromobilität kann demnach als „urbane Mobilität“ betrachtet werden und zur Steigerung der Qualität urbanen Lebens beitragen.

Es existieren unterschiedliche Konzepte und Ansätze, um die Diffusion von Elektrofahrzeugen vor allem in der Stadt zu fördern. Wie in Frankreich kann durch die Beschaffung der öffentlichen Hand und großer Unternehmen die Anzahl von Elektromobilen gesteigert werden. Mit dem Beschluss, bis 2015 insgesamt 100.000 Fahrzeuge zu kaufen⁴⁹, wird das Ziel verfolgt, zum einen die Wirtschaftlichkeit zu steigern und zum anderen die Lebensqualität in Städten zu erhöhen.

Darüber hinaus kann durch Car-Sharing-Konzepte die Einführung von Elektromobilen voran getrieben werden. Verschiedene Anbieter, wie beispielsweise die norwegische Firma Move About ermöglichen bereits das Car-Sharing mit Elektromobilen.⁵⁰ Auch in der Region Düsseldorf sollen ab November 2009 über das Car-Sharing-Unternehmen „Drive“ strombetriebene Fahrzeuge gemietet werden können. Unterstützt wird Drive dabei von den Stadtwerken Düsseldorf, der Rheinbahn, dem AutoCluster NRW und dem Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes NRW.⁵¹ Die Deutsche Bahn will mit DB Car-Sharing die Nutzung von Elektromobilen für jedermann ermöglichen. Mit einem neuen Angebot, das „Be Mobility“ heißen wird, soll der öffentliche Verkehr nun in Berlin durch die Vernetzung mit Elektroautos und Elektrofahrrädern moderner und attraktiver gestaltet werden.⁵² Auch die Drive-Car-Sharing GmbH bietet Elektromobile an sechs Standorten in Deutschland an.⁵³ Allerdings bleibt bei Car-Sharing-Konzepten für Elektromobile nach wie vor offen, wie diese bei den aufgrund der Nachladung erforderlichen langen Standzeiten nach jeder Fahrt – bei Drive-Car-Sharing von mindestens 4 Stunden zwischen zwei Fahrten – attraktiv und wirtschaftlich umsetzbar sind.

49 <http://www.greencarcongress.com/2009/10/france-20091002.html> | 50 Mit 50 Elektrofahrzeugen besitzt Move About die größte elektromobile Flotte Norwegens. Vgl. dazu: <http://www.moveabout.net/en/> | 51 <http://www.openpr.de/news/372702/Drive-CarSharing-Der-ersten-Baustein-in-dieElektromobilitaet-fuer-Jedermann.html> | 52 <http://www.berlinonline.de/berliner-zeitung/archiv/.bin/dump.fcgi/2009/0831/berlin/0015/index.html> | 53 In Köln, Düsseldorf und Bochum, darüber hinaus in Braunschweig, Nürnberg und München. Vgl. dazu <http://www.drive-ecity.de/index.html>

Prognosen und Meinungen – Expertengespräche

Langfristig gesehen ist die Verbrennungsmaschine ein Auslaufmodell.¹

Die Akzeptanz und Emotion für Elektrofahrzeuge steigt.²

Langfristig gesehen können zwei parallele Stränge erfolgversprechend sein: BEV für Stadt- und Klein-streckenbetrieb, sowie Brennstoffzellenfahrzeuge für Langstrecken-einsatz.¹

Wichtig ist, dass der Nutzfahrzeugbereich, Taxis, etc. nicht vergessen wird.³

Im Bereich Kommunalfahrzeuge sollte man als erstes auf Elektromobilität setzen. Kurze Distanzen machen es möglich.²

Bei herkömmlichen Verbrennungsmotoren besteht noch erhebliches Optimierungspotenzial. Sie werden daher auch langfristig nicht vom Markt verdrängt werden.⁴

Für die schnelle Verbreitung der Elektromobilität sind neue Geschäftsmodelle im Individualverkehr gefragt. In Zukunft könnten Mobilitätslösungen anstelle von Fahrzeugen verkauft werden.⁴

Die Brennstoffzelle für automobiler Anwendungen im PKW wird es wahrscheinlich nicht geben.⁵

Stark im kommen sind elektrische Zweiräder. Hier sind große Märkte in China, aber auch Deutschland möglich.⁶

Langfristig werden rein elektrische Antriebe bei PKW angestrebt. Bis 2020 beschränkt sich deren Einsatz aber auf Kurzstrecken.⁶

Es wird eine Vielzahl an Antriebskonzepten in den nächsten Jahren geben. Dies führt zu einer hohen Komplexität der Systeme.

Auf lange Frist gesehen ist elektrische Traktion möglich. Der Weg hierzu ist allerdings eine evolutionäre Entwicklung über die Hybridisierung.⁷

Abhängig von der Art des Verkehrs – Stadt-, Überland- oder Langstreckenverkehr – werden sich unterschiedliche Antriebskonzepte durchsetzen. Hybridisierung wird eine steigende Bedeutung eingeräumt, vor allem Plug-In Hybride werden an Bedeutung gewinnen. Der Verbrenner wird uns aber noch lange erhalten bleiben.⁸

In Deutschland wird es nicht möglich sein, Akzeptanz für reinelektrische Fahrzeuge mit Reichweiten-, Infrastruktur-, oder Kostennachteilen zu schaffen.⁸

Der heutige Hybrid stellt eine Interimslösung auf dem Weg zum reinelektrischen Fahrzeug dar.⁹

Referenz: 1 Experteninterview Dr. H. Döring (ZSW) vom 24.11.2009 | 2 Experteninterview A. Rupalla (RA Consulting) vom 25.11.2009 | 3 Experteninterview B. Kappenstein (Metropolregion Rhein-Neckar) vom 13.11.2009 | 4 Experteninterview Dr. R. Reiner (WRS) vom 19.11.2009 | 5 Experteninterview Prof. Dr. F. Pautzke (HS Bochum) vom 25.11.2009 | 6 Experteninterview Dr. W. Begemann (VDMA) vom 09.11.2009 | 7 Experteninterview Prof. Dr. H.-C. Reuss (Uni Stuttgart) vom 09.11.2009 | 8 Experteninterview Dr. T. Behr (Daimler) vom 16.11.2009 | 9 Interview mit Experte aus der Forschung vom 11.11.2009

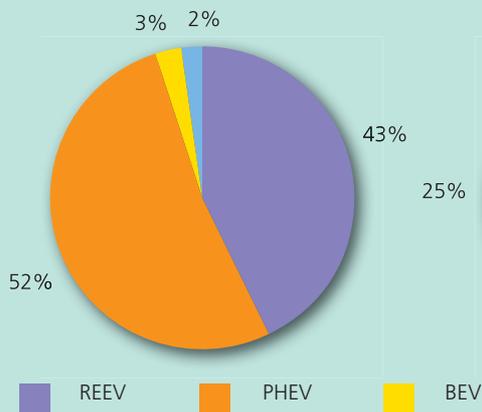
Prognosen und Meinungen – Quantitative Befragung

- Elektrischen Antriebskonzepten wird von der Mehrzahl der befragten Unternehmen eine hohe zukünftige technologische Bedeutung zugesprochen (siehe Abbildung rechts) (95% der Befragten). Langfristig wird allerdings das größte Potenzial den batterieelektrischen (49%) sowie Brennstoffzellenfahrzeugen (39%) zugeschrieben.
- Für den dt. Automobilmarkt 2020 wird der Anteil an Neuzulassungen von Verbrennungsmotoren auf 58% eingeschätzt. PHEV und REEV erreichen zusammen 21%. BEV kommen auf 12% und Brennstoffzellenfahrzeuge erreichen 9%
- Ein Vergleich der alternativen Antriebskonzepte zeigt, dass kurzfristig im Hybridantrieb das höchste Potenzial gesehen wird

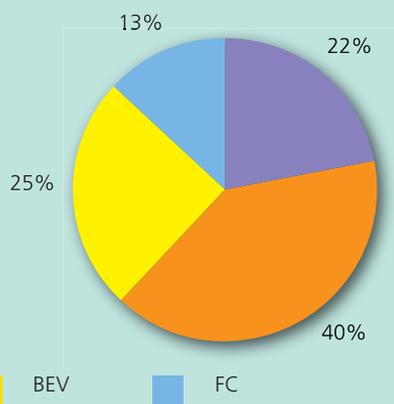
Zukünftige technologische Bedeutung elektromobiler Antriebskonzepte



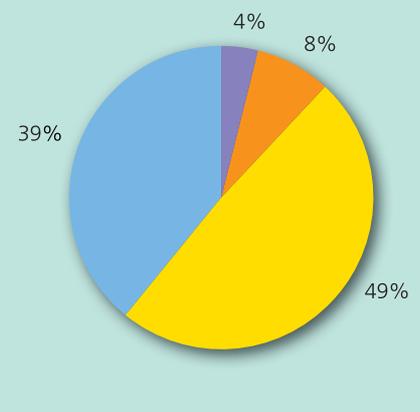
Antriebskonzept mit größtem Entwicklungspotenzial (kurzfristig)



Größtes Potenzial (mittelfristig)



Größtes Potenzial (langfristig)





2.3 Fördermöglichkeiten und Förderbedarf

Bezüglich des Förderbedarfs der Elektromobilität muss hinsichtlich des Grades der Elektrifizierung der Fahrzeuge unterschieden werden. Während teilweise elektrifizierte Fahrzeuge (wie z.B. der Toyota Prius) bereits als auf dem Markt etabliert bezeichnet werden können, sieht es ab der Stufe der Plug-In Hybride anders aus. Anhand der vorangegangenen TCO-Betrachtung und Zahlungsbereitschafts-Analyse (vgl. Kap. 2.2.3) wird deutlich, dass der Markt für batterieelektrische Elektrofahrzeuge im Moment der Förderung bedarf, soll eine Diffusion dieser Fahrzeuge erreicht werden. Es lohnt sich für Endkunden heute kostenmäßig nicht, sich eines vom Anschaffungspreis her teuren batterieelektrischen Fahrzeuges zu bedienen. Zu günstig, sowohl in der Anschaffung als auch im Verbrauch, sind heute herkömmliche Fahrzeuge mit optimierten Verbrennungsmotoren. Zwar werden heute schon innovative Geschäftsmodelle und Mobilitätskonzepte entwickelt, um einer Einführung von Elektrofahrzeugen Vorschub zu leisten und es für Endkunden attraktiv zu machen, sich mit Elektrofahrzeugen zu bewegen (vgl. Kap. 2.2.4), dies wird jedoch voraussichtlich nicht ausreichen. In einigen Ländern, wie beispielsweise in Frankreich, wird der Kauf von Elektrofahrzeugen bereits heute direkt subventioniert. So wird Kunden in Frankreich ein Zuschuss beim Kauf

eines Elektrofahrzeugs in Höhe von 5.000 € gewährt, wodurch diese auch bei heutigen Ölpreisen im Vergleich zum Verbrenner attraktiv werden.⁵⁴ Neben weiteren monetären Anreizen, wie Steuervergünstigungen, sind auch nichtmonetäre Anreize ein Argument für Endkunden, sich eines Elektrofahrzeugs zu bedienen. So gibt es die Möglichkeit, kostenlose Parkplätze speziell für Elektrofahrzeuge bereit zu stellen oder Elektrofahrzeugen das Fahren auf speziellen Spuren, wie zum Beispiel Busspuren (vgl. Norwegen) zu genehmigen. Durch das Schaffen weiterer Rahmenbedingungen, wie Einfahrbeschränkungen in Städte, die nur für Verbrennungsmotorbasierte Fahrzeuge gelten, können weitere Anreize für Kunden geschaffen werden, sich eines Elektrofahrzeugs zu bedienen (vgl. City-Maut Befreiung von Elektrofahrzeugen in London).

Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass zurzeit de facto kein Markt für batterieelektrische Fahrzeuge existiert und insbesondere auch die deutschen Automobilhersteller keine entsprechenden Produkte im Portfolio haben. Eine Marktförderung zum jetzigen Zeitpunkt würde somit nicht die gewünschte Wirkung erzielen, allenfalls würden wenig ausgereifte Fahrzeuge aus dem Ausland nach Deutschland importiert werden. Neben nachfrageorientierten Fördermöglichkeiten besteht somit nach wie vor großer Förderungsbedarf im Bereich der Forschung und Entwicklung. Um Probleme, wie bei-

spielsweise die kurzen Reichweiten oder langen Ladezeiten von batterieelektrischen Fahrzeugen beheben zu können, ist auch weiterhin Grundlagenforschung notwendig, die konsequent fortgeschrieben werden muss. Darüber hinaus ist es wichtig, dass Grundlagenforschung auch in die Anwendung gebracht wird. Neben einer Verstärkung der Technologieförderung gilt es demnach auch den Aufbau von Produktionskapazitäten und die Etablierung von Wertschöpfungsketten gezielt auszubauen. Nur so kann gewährleistet werden, dass Innovationen auch in eine kostengünstige, effiziente Produktion überführt und schließlich erfolgreich am Markt platziert werden können.

Zusammenfassend ist eine konzertierte Forschungs- und Marktförderung angezeigt, welche inklusive einer klaren zeitlichen Perspektive die Maßnahmen der nächsten Jahre aufeinander abstimmt.

⁵⁴ http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/dossier_de_presse_vehicules_ecologiques_cle097ee4.pdf

Prognosen und Meinungen – Expertengespräche

Momentan benötigt man eher angewandte Forschung und Unterstützung für den Aufbau von Produktionskapazitäten/Prozessoptimierung. Förderung ist desweiteren notwendig für erste Tests in der Praxis. Förderung darf aber nicht Wettbewerb verzerrend sein.¹

Eine zentrale Stelle auf Bundesebene wird allgemein positiv beurteilt. Die Umsetzung und Etablierung muss allerdings noch erfolgen. Eine zentrale Stelle auf Landesebenen zur Koordination und dem Austausch zwischen den Ländern könnte sinnvoll sein.¹

Es besteht ein kontinuierlicher Bedarf an anwendungsorientierter Forschung. Außerdem muss Förderung nachhaltig sein. Förderung der Nachfrage wird als mögliche zweite Stufe gesehen, sobald Produkte erhältlich sind.²

Der Markt für Elektromobilität sollte durch das Schaffen wirksamer und verlässlicher Rahmenbedingungen und frühzeitiger Standardisierungen gefördert werden.³

Es muss einen ganzheitlichen Korb an Fördermöglichkeiten geben!⁴

Um Kompetenzen besser bündeln zu können, sollte die Koordination des Themas Elektromobilität bundesweit einheitlich durch eine Stelle durchgeführt werden.⁴

KMU müssen stärker gefördert werden. Hier steckt großes Potenzial.⁵

Forschungsförderung ist insbesondere wichtig in den Bereichen Batterie, Leistungselektronik, Elektromotor und Leichtbau.⁶

Förderung der Produktionstechnologien und -verfahren ist essentiell, um günstige Produktion der Komponenten in Deutschland zu gewährleisten.⁶

Bei der Förderung darf die kommunale Ebene nicht vergessen werden: dort müssen Infrastruktur, Parkplätze mit Ladestationen, intelligente Netze, etc. geschaffen werden.⁷

Problematisch wird momentan die Vielzahl an Großprojekten gesehen. Diese dienen zumeist nur Großunternehmen, aber nicht dem Mittelstand und kleinen innovativen Zulieferunternehmen.⁸

Es wird eine Aufteilung gefordert: Förderung des Forschungsbedarfs über den Bund, Infrastrukturmaßnahmen über die Landesregierung mit Energieversorgern.⁸

Die Zusammenarbeit im vorwettbewerblichen Bereich sollte verstärkt und gefördert werden. Kooperationen und Verbundprojekte könnten durch Fördermaßnahmen angeregt werden.⁹

Landesinitiativen sollten Bundesinitiativen gezielt ergänzen, ansonsten werden Firmen diese nicht nutzen. Es sollte kein Gießkannenprinzip angewandt, sondern gezielte Förderung betrieben werden.¹⁰

Eine Fokussierung auf produktionsorientierte Förderung ist insbesondere wichtig zur Kostensenkung.¹⁰

Wichtiger Forschungsbedarf besteht zum einen in Kundennutzen- und Akzeptanzfragen. Im Bereich der F&E von Elektromotoren für Fahrzeuganwendungen kann noch mehr getan werden. Hier gab es noch keinen großen Förderinput.¹¹

Referenz: 1 Experteninterview Dr. H. Döring (ZSW) vom 24.11.2009 | 2 Experteninterview Dr. L. Jörissen (ZSW) vom 13.11.2009 | 3 Experteninterview Dr. R. Reiner (WRS) vom 19.11.2009 | 4 Experteninterview Dr. S. Wöhrle (VDA) vom 23.11.2009 | 5 Experteninterview A. Rupalla (RA Consulting) vom 25.11.2009 | 6 Experteninterview Prof. Dr. F. Pautzke (HS Bochum) vom 25.11.2009 | 7 Experteninterview B. Kappenstein (Metropolregion Rhein-Neckar) vom 13.11.2009 | 8 Experteninterview Dr. W. Begemann (VDMA) vom 09.11.2009 | 9 Experteninterview Prof. Dr. H.-C. Reuss (Uni Stuttgart) vom 09.11.2009 | 10 Experteninterview Dr. T. Behr (Daimler) vom 16.11.2009 | 11 Interview mit Experte aus der Forschung vom 11.11.2009



2.4 Wettbewerb der Regionen

Zurzeit entsteht ein intensiver Wettbewerb um die Führerschaft im Bereich der Elektromobilität. Der Wettbewerb um zukünftige Technologie- und Produktionskompetenz sowie Markt- und Wertschöpfungsanteile wird dabei nicht nur auf Unternehmensebene ausgetragen. Bei einer fundamentalen

Technologierevolution entsteht in erster Linie ein Wettbewerb der Regionen, wie er auch bezüglich der Elektromobilität zu beobachten ist.

Wie in Abbildung 21 zu erkennen ist, haben die meisten Regierungen erkannt, dass der sich abzeichnende Paradigmenwechsel hin zur Elektromobilität auch auf politischer Ebene aktiv

mitgestaltet werden muss. So werden in den unterschiedlichen Regionen USA, Europa und Asien die Entwicklung energieeffizienter Fahrzeuge und die Einführung der Elektromobilität mit unterschiedlichen Fördermaßnahmen unterstützt.⁵⁶



Abbildung 21: Der Wettbewerb der Regionen wird durch massive Subventionsprogramme befördert⁵⁵

55 Eigene Darstellung | 56 Bundesregierung (2009): „Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität“, S. 14 f | 57 www.elysee.fr | 58 http://www.developpement-durable.gouv.fr/article.php3?id_article=6001

2

Die Automobilindustrie auf dem Weg in die Elektromobilität

Auch innerhalb Europas wurden bereits unterschiedliche Maßnahmen eingeleitet, um dem Thema Elektromobilität Vorschub zu leisten:

Vor allem in Frankreich existiert ein starkes politisches Commitment zu dem Thema Elektromobilität. Mit dem „Pacte Automobile“ wurde im Februar 2009 ein konkreter Entwicklungsplan sowie Fördersummen in Höhe von 400 Mio. € zur Entwicklung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen definiert.⁵⁷ Im Oktober 2009 wurde außerdem ein Volumen von 2,5 Mrd. € beschlossen, das die französische Regierung über die nächsten 10 Jahre in Forschung, Subventionen und den Aufbau von Infrastruktur für Elektromobilität investieren will.⁵⁸

In Deutschland wird mit dem Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität das Ziel verfolgt, die Forschung und Entwicklung, die Marktvorbereitung und die Markteinführung von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen gezielt voranzutreiben. Insgesamt wurden mit dem Konjunkturpaket II Mittel in Höhe von 500 Mio. € bis 2011 zur Förderung des Themas bereitgestellt.⁵⁹ 115 Mio. € dieser Mittel wurden dabei für das Förderprogramm „Modellregionen Elektromobilität“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) bereitgestellt (vgl. Abbildung 25). Gefördert werden dabei acht Modellregionen in Deutschland, welche den Aufbau einer Infrastruktur und die Verankerung des Themas im öffentlichen Raum voranbringen sollen.⁶⁰ Außerdem wird dadurch

dem Wettbewerb unterschiedlicher Regionen innerhalb von Deutschland Vorschub geleistet.

Neben dem bundesweiten Programm versuchen innerhalb von Deutschland auch einzelne Bundesländer den bevorstehenden Paradigmenwechsel aktiv mitzugestalten. Vor allem das Land Nordrhein-Westfalen (NRW) fördert mit seinem Ziel, bis 2020 mindestens 250.000 Fahrzeuge mit elektrischem Antriebsstrang in NRW zu erreichen, das Thema intensiv. So werden beispielsweise mit dem aktuellen „Ziel-2-Wettbewerb ElektroMobil.NRW“ bis zu 60 Mio. € für Forschung und Entwicklung und gewerbliche Förderung bereitgestellt.⁶¹

Bayern fördert mit einem Programm in Höhe von 5 Mio. € seit dem 01. August 2009 einzelbetriebliche Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Bereich der Elektromobilität.⁶² In Baden-Württemberg wurde im November 2009 eine Landesinitiative zur Förderung der Elektromobilität verabschiedet, welche in den nächsten zwei Jahren mit Mitteln von 15 Mio. € gezielt Struktur- und Projektmaßnahmen unterstützen und das Innovationsklima zur raschen Umsetzung des Themas nachhaltig optimieren soll. Um die Themen in Baden-Württemberg besser bündeln zu können, soll im Rahmen der Landesinitiative außerdem eine „Landesagentur Elektromobilität“ eingerichtet werden. Zu den Aufgaben dieser koordinierenden Stelle gehören Wissenstransfer, das Aufzeigen von

Innovationspotenzialen, das Initiieren, Durchführen und Koordinieren von Verbundforschungsprojekten sowie Standortmarketing, Öffentlichkeitsarbeit und Imagepflege.⁶³

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass großes Interesse seitens unterschiedlicher Regionen besteht, den sich abzeichnenden Paradigmenwechsel hin zur Elektromobilität aktiv mit zu gestalten. Ein intensiver Wettbewerb hat begonnen. Welche Regionen letztlich diesen Wettbewerb für sich entscheiden und nicht nur zum Leitmarkt sondern auch zum Leitanbieter für Elektromobilität werden, ist offen.

59 Bundesregierung (2009): „Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität“, S. 24 | 60 <http://www.bmvbs.de/Service/A-bis-ZKonjunkturpaket-,3132.1092406/Modellregionen-Elektromobilita.htm> | 61 http://www.energieagentur.nrw.de/_infopool/page.asp?InfoID=8156 | 62 <http://www.stmwivt.bayern.de/technologie/technologiefoerderung>, http://www.baika.de/portal/baika_news_detail,15260,754,151895,detail.html | 63 Pressestelle der Landesregierung BW (2009): „Landesregierung startet Landesinitiative Elektromobilität“. Pressemitteilung Nr. 359/2009, 24. November 2009 | 64 <http://www.bmvbs.de/Verkehr-,1405.1092406/Modellregionen-Elektromobilita.html>



Abbildung 22: Modellregionen für Elektromobilität in Deutschland⁶⁴

Prognosen und Meinungen – Expertengespräche

Baden-Württemberg nimmt eine herausragende Position in Deutschland ein. Vor allem wegen den gut aufgestellten Automobil-, Maschinenbau- und Elektronik/Elektrik-Sektoren.¹

Die elektromobile Revolution im Automobilbau ist noch nicht entschieden. Deutschland hat eine Chance; sie verwirklicht sich aber nicht von allein.²

Technologisch gesehen besitzt Asien einen Vorsprung im Bereich Li-Ion Technologie und E-Motoren Fertigung.²

Der Wettbewerb der Regionen um E-Fahrräder und E-Roller ist bereits für Asien entschieden. Im Automobilbau steht die Entscheidung noch aus.²

Kooperationen mit technologisch fortschrittlichen Unternehmen in bspw. Korea können kurzfristig zum Aufbau eigenen Know-hows, aber auch langfristig zum Abwandern von Wertschöpfung führen.³

Es wird eine hohe Kompetenz im Bereich Leistungselektronik für Deutschland gesehen.³

Asien besitzt weit mehr Erfahrung in der Batterietechnik und Batteriefertigung. Obwohl die Erfahrung hauptsächlich bisher aus dem Consumer Bereich kommt, ist davon auszugehen, dass diese für ein Upscaling sehr positiv sein wird.⁴

Es gibt viele Aufgaben die sind Gesamtdeutsch. Deswegen darf nicht in starren Bundesländergrenzen gedacht werden. Sinnvoll wäre eine enge, EU-weite Kooperation und Koordination über Ländergrenzen hinweg. Gemeinsam hätten die Länder der EU bessere Chancen, sich gegenüber Asien zu behaupten.⁴

Obwohl Deutschland einmal eine Hochburg für Elektrochemie war, ist die Batteriefertigung momentan schwach aufgestellt.⁴

Deutschland ist im Bereich Elektrotechnik/Elektronik gut aufgestellt. Dieses Potenzial sollte auch auf Kompetenz bezüglich der Elektronik/Steuerung bei Batterien übertragen werden können.⁴

Eine starke Positionierung im heutigen Automobilbau kann Vorteile bringen. Daher besitzen Länder mit starker Zulieferindustrie gute Voraussetzungen.⁵

Deutschland kann zum Technologiestandort für Elektromobilität werden, wenn der politische Willen dies stützt.⁶

In China könnte ein Wechsel zum E-Fahrzeug schneller kommen, da hier Akzeptanz „verordnet“ werden kann.⁷

In Bezug auf Förderung ist Deutschland als Produktions-Standort maßgeblich schlechter aufgestellt als China oder USA.⁷

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Rohstoffverfügbarkeit. Deutschland ist im Moment in Bezug auf Rohstoffallianzen sehr schlecht aufgestellt.⁷

Im Bereich der Lithium-Ionen-Batteriesystemtechnik für den Fahrzeugeinsatz hat Deutschland heute einen Vorsprung. Im Bereich der Zellfertigung besteht jedoch ein Nachholbedarf.⁸

Die Landkarte der geförderten Projekte im Bereich E-Mobilität lässt eine relativ gleichmäßige Verteilung erkennen.⁸

Mit Hilfe entsprechender Förderung kann Deutschland als Technologie- und auch Produktionsstandort von der Elektromobilität profitieren, vor allem im Bereich Batterie-/Speichertechnologien. Diese stehen bereits im Mittelpunkt der Betrachtung, die Anstrengungen dürfen aber nicht nachlassen; in anderen Regionen der Welt wird dazu weiter viel investiert.⁹

Deutschland wird schon kurzfristig als Technologiestandort profitieren. Deutschlands Rolle als Produktionsstandort wird allerdings maßgeblich von der Schaffung guter Rahmenbedingungen abhängen.¹⁰

Referenzen: 1 Experteninterview A. Rupalla (RA Consulting) vom 25.11.2009 | 2 Experteninterview Prof. Dr. F. Pautzke (HS Bochum) vom 25.11.2009 | 3 Experteninterview Dr. W. Begemann (VDMA) vom 09.11.2009 | 4 Experteninterview Dr. H. Döring (ZSW) vom 24.11.2009 | 5 Experteninterview Dr. L. Jörissen (ZSW) vom 13.11.2009 | 6 Prof. Dr. H.-C. Reuss (Uni Stuttgart) vom 09.11.2009 | 7 Experteninterview Dr. T. Behr (Daimler) vom 16.11.2009 | 9 Experteninterview Dr. S. Wöhl (VDA) vom 23.11.2009 | 9 Interview mit Experte aus der Forschung vom 11.11.2009 | 10 Experteninterview Dr. R. Reiner (WRS) vom 19.11.2009

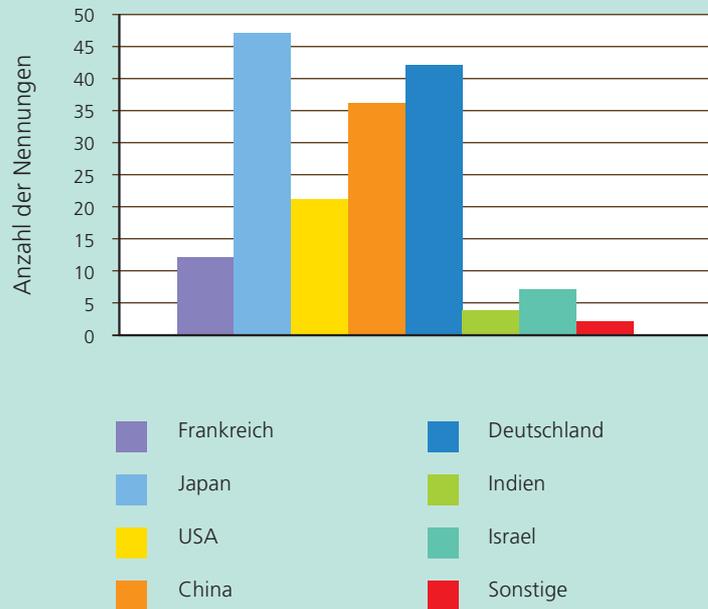
Prognosen und Meinungen – Quantitative Befragung

Als prägende Länder für das Thema Elektromobilität werden in fallender Reihenfolge gesehen: Japan, Deutschland, China, USA, Frankreich, Israel und Indien. Als „Sonstige“ wurden Dänemark, Schweden und Korea genannt

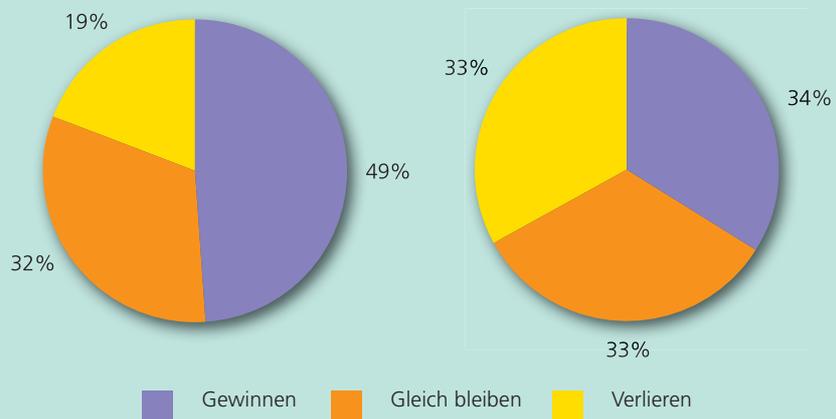
49% der Befragten geben an, dass Deutschland als Technologiestandort für Systeme der Elektromobilität gewinnen wird. Lediglich 19% sehen Deutschland auf der Verliererseite

Hingegen geben nur 34% der Befragten an, dass Deutschland als Produktionsstandort gewinnen wird. 33% sehen Deutschland als Produktionsstandort auf der Verliererseite

Länder, welche zukünftig das Thema Elektromobilität prägen werden



Deutschland wird von der Elektromobilität als Technologiestandort an Bedeutung Produktionsstandort an Bedeutung



3

Konsequenzen des Wandels für Baden-Württemberg

3.1 Struktur der Automobilindustrie in Baden-Württemberg

Baden-Württemberg gilt als bedeutendster Automobilstandort in Deutschland und genießt sowohl national als auch international einen hervorragenden Ruf. Die einzigartige Ballung von Fahrzeugherstellern, Automobilzulieferern, Forschungsinstituten und Hochschulen mit spezialisierten Studiengängen bietet dem Fahrzeugbau hervorragende Standortbedingungen. Mit der Daimler AG und der Porsche AG haben zwei der renommiertesten

Automobilhersteller ihren Hauptsitz in Baden-Württemberg, darüber hinaus ist die Audi AG mit einem bedeutenden Produktions- und Entwicklungsstandort im Land vertreten. Neben renommierten Unternehmen im Nutzfahrzeugbereich (wie beispielsweise Volvo Busse Deutschland GmbH, Kässbohrer Geländefahrzeug AG oder Mercedes-Benz LKW) verfügt der Standort Baden-Württemberg außerdem über eine Vielzahl von bedeutenden Zulieferunternehmen.

Die Automobilindustrie mit ihren Zulieferern nimmt in Baden-Württemberg eine Schlüsselfunktion ein. In Baden-Württemberg waren im Jahr 2008 rund 200.000 sozialversicherungspflichtige Beschäftigte in 357 Unternehmen im Fahrzeugbau tätig.⁶⁵ Insgesamt wurde in Baden-Württemberg in dieser Branche ein Jahresumsatz von rund 80 Mrd. Euro erwirtschaftet (vgl. dazu Kap. 3.2).

Darüber hinaus arbeiten etwa 140.000 Beschäftigte in baden-württembergischen Unternehmen anderer Branchen, welche der Automobilindustrie zuarbeiten.

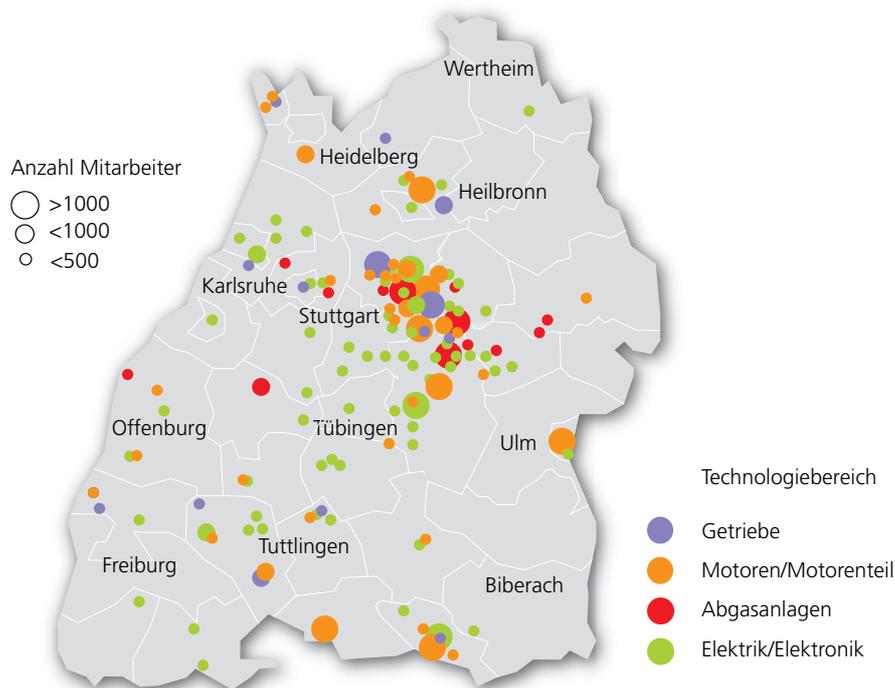


Abbildung 23: Landkarte von Automobilzulieferunternehmen in BW⁶⁶



ten. Weitere 60.000 Beschäftigte kann man addieren, wenn auch das Kraftfahrzeuggewerbe und Serviceeinrichtungen berücksichtigt werden, so dass in Summe ca. 400.000 direkt oder indirekt Beschäftigte im Jahre 2007 in Baden-Württemberg ihr Geld durch das Automobil verdient haben.⁶⁷

Gerade für das Autobilland Baden-Württemberg hat demnach ein Wandel hin zur Elektromobilität enorme Auswirkungen. Durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs werden Wertschöpfungsanteile neu verteilt, zwischen entfallenden und neuen Komponenten, zwischen unterschiedlichen Akteuren und zwischen einzelnen Wirtschaftsregionen.

Gerade Zulieferunternehmen, die ihren heutigen Umsatz in den Technologiebereichen „Abgasanlagen“, „Motoren, Motorenteile“, „Getriebe“ oder „Elektrik bzw. Elektronik“ generieren, werden sich den Herausforderungen der Elektromobilität stellen und Chancen sowie Risiken rechtzeitig erfassen müssen. Denn gerade diese Bereiche werden durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs besonders betroffen sein. Abbildung 23 gibt einen Überblick über die regionale Verteilung der wichtigsten Zulieferer in diesem Bereich.

3.2 Die automobilen Wertschöpfungsarchitektur und ihre Auswirkung auf die Beschäftigungsstruktur

Der baden-württembergische Fahrzeugbau besitzt einen Anteil von rund 20% an der deutschen und rund 5% an der weltweiten automobilen Wertschöpfung⁶⁸. Der Fahrzeugbau zählt damit zu einem der bedeutendsten Arbeitgeber aber natürlich auch Steuerzahler Baden-Württembergs. Vor diesem Hintergrund wirft der anstehende Technologiewandel zur Elektromobilität sowohl bei den Unternehmen und der Landespolitik aber ebenso bei den Beschäftigten die Frage auf, ob Baden-Württemberg auch in Zukunft ein maßgeblicher Anteil der automobilen Wertschöpfung auf sich vereinigen kann.

Wie in Kapitel 2.1.2 ausgeführt, nimmt der Technologiewandel hin zur Elektromobilität Einfluss auf eine Vielzahl von Komponenten und kann bedeutend für die gesamte Wertschöpfungskette der Automobilwirtschaft sein.

– Der Verbrennungsmotor inklusive der zugehörigen Komponenten (Motorblock, Kolben, Ventile, Ölwanne, etc.) verliert vom reinen Verbrennungsantrieb über den Hybrid- bis zum reinen Elektroantrieb zunehmend an Bedeutung und damit an Wertschöpfungsanteilen.

- Gleiches gilt für die Einspritzanlage, Abgasanlage und Lichtmaschine.
- Stark modifiziert werden Komponenten wie Klimatisierung (Innenraumklimatisierung, Kühlwasserpumpe, etc.), Lenksystem und der restliche Antriebsstrang (Getriebe, Radaufhängung, etc.). Während beispielsweise das Getriebe für den parallelen und leistungsverzweigten Hybrid sehr komplex und teuer bleiben wird, kann beim seriellen Hybrid- und batterieelektrischen Fahrzeug eine starke Vereinfachung dieser Komponente vorgenommen werden. Folglich sinkt hier die Wertschöpfung für diese Antriebskonzepte.
- Neue Möglichkeiten der Wertschöpfung ergeben sich in den Bereichen Batterie (sowohl auf Zellebene, als auch Batteriegesamtsystem und Batteriemangement), elektrische Maschine, Motorsteuerung und Leistungselektronik.
- Zu berücksichtigen ist, dass auch im Bereich Verbrennungsmotor durch CO₂-Effizienzmaßnahmen ebenfalls neue Wertschöpfung generiert werden kann.

65 IMU-Institut (2009): „Strukturbericht Region Stuttgart“, S. 100 | 66 Eigene Darstellung | 67 http://www.bw-invest.de/deu/index_deu_6398.aspx | 68 Bei einem Anteil der deutschen Automobilindustrie am weltweiten Umsatz von 25% (vgl. McKinsey Studie (2009): „Der Trend zu energieeffizienten PKW“ sowie Kapitel 3.1)

Um den Einfluss des Technologiewandels zur Elektromobilität auf die Wertschöpfung zu quantifizieren und letztlich die Auswirkungen auf die Beschäftigungsstruktur analysieren zu können, ist es notwendig, Kostenabschätzungen für die betroffenen Komponenten vorzunehmen. Die technologische Entwicklung sowie Skalen- und Lernkurveneffekte sind dabei zu berücksichtigen. Die Abschätzung der Kosten sowie der Kostenreduktion der einzelnen Komponenten wurde durch eine Metaanalyse veröffentlichter Studien durchgeführt.⁶⁹ Die Ergebnisse der Metaanalyse wurden durch Expertengespräche validiert. Annahmen die getroffen wurden:

- Es wurden als Kosten die Herstellkosten angesetzt, die ein Automobilbauer selbst zahlen muss, entweder für eine eigene Fertigung oder für den Bezug der Komponenten. Hiervon zu unterscheiden ist der „Manufacturers Suggested Retail Price“ oder auch „Vehicle Retail Price Equivalent“. „Mark-Ups“ (Kosten für Marketing, Marge, Transport, R&D, etc.) die komponenten- und studienspezifisch zwischen 16% bis 124% schwanken⁷⁰ wurden nicht berücksichtigt.
- Es wurden am Markt befindliche oder angekündigte Modelle als Definitionsgrundlage für Motorleistung und Batteriekapazität gewählt. Die

verwendeten Werte beziehen sich auf die Modelle VW Polo, BMW 330, Toyota Prius 2, Toyota Prius PHEV 20 (20 km Reichweite rein elektrischer Antrieb), GM Volt REEV 60 (60 km Reichweite rein elektrischer Antrieb), Mitsubishi i MiEV, BYD e6 und MB BlueZero F-Cell als Brennstoffzellenfahrzeug. Da allerdings die analysierten Szenarios keine Aussagen bezüglich der Verbreitung von Brennstoffzellenfahrzeuge im Jahr 2020 beinhalten, konnte diese Antriebsart nicht für die Berechnung des globalen Marktvolumens verwendet werden.

Unbedingt zu beachten sind die Limitierungen der nachfolgenden Berechnungen:

- Es wurde nicht die gesamte Palette an Fahrzeugklassen abgebildet.
- Es wurde über alle Komponenten hinweg, heute wie auch im Jahr 2020, von einem 5%-Anteil Baden-Württembergs am Weltmarkt ausgegangen, um die Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte für das Land abzuschätzen.
- Die Entwicklung hinsichtlich Kosten und Marktdiffusion über das Jahr 2020 hinaus wurde nicht betrachtet.
- Es existieren zum Teil stark differierende Einschätzungen über die Entwicklungen der Komponenten-

kosten sowie der verkauften Fahrzeuge je Fahrzeugklasse und Antriebskonzept sowohl in der Sekundärliteratur als auch bei den befragten Experten. Dieser Konflikt konnte nicht aufgelöst werden.

Die Abschätzung der Entwicklung der automobilen Wertschöpfungsarchitektur möchten die Autoren damit als „zur Diskussion gestellt“ verstanden wissen. Es wird die Aufgabe der nächsten Monate und Jahre sein, die Datenbasis weiter auszubauen und nachzuschärfen.

Die ermittelten Kosten sind in heutige Kosten und Kosten für das Jahr 2020 differenziert. In der folgenden Abbildung ist die Kostenstruktur für ein batterieelektrisches Fahrzeug in kleiner und großer Ausprägung dargestellt (vgl. Abbildung 24). Dabei sind die heutigen und die für das Jahr 2020 möglichen Kostenstrukturen aufgelistet.

Diese Darstellung verdeutlicht, dass die Batterie im batterieelektrischen Fahrzeug einen bedeutenden Wertschöpfungsanteil auf sich vereinigen wird. Die Antriebsbatterie wird auch im Jahr 2020 noch 50% der Kosten bei Fahrzeugen mit Forderung nach großer Reichweite und fast 40% der Kosten bei kleinen Fahrzeugen ausmachen. Allerdings werden auch weitere Kom-

69 A.T. Kearney Studie (2008): „Der Antrieb der Zukunft“; MIT Studie Bandivadekar, A. et al. (2008): „On the Road in 2035“; MIT Kromer, M. et al. (2007): „Electric Powertrains: Opportunities and Challenges“; MIT Weiss, M. et al. (2000): „On the Road in 2020“; McKinsey Studie (2009): „Der Trend zu energieeffizienten PKW“; McKinsey Pinner, D. (2008): „Economics/Emerging Business Opportunities in Energy Storage“; Roland Berger, Rothschild (2008): „Global Automotive Supplier Study 2008“; Dixon, L. et al (2002) „Driving Emission to Zero“; EPRI Graham, R. et al. (2001): „Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options“; Greene, D. et al. (2007): „Integrated Analysis of Market Transformation Scenarios with HyTrans“; Schäfer, A. et al. (2006): „Future fuel cell and internal combustion engine automobile technologies“; NREL Simpson, A. (2006): „Cost-Benefit Analysis of Plug-In Hybrid Electric Vehicle Technology“; EUCAR, CONCAWE, EU-JRC (2006): „Well-to-Wheel Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context“; Kloess, M.; et al. (2009) Technical, Ecological and Economical assessment of electrified Powertrain Systems for Passenger Cars“; Lipman, T. et al. (2006): „A retail and lifecycle cost analysis of hybrid electric vehicles, Transportation Research Part D 6“; Delucchi, M. et al (2000): „Electric and Gasoline Vehicle Lifecycle Cost



ponenten einen hohen Kostenfaktor darstellen: Die elektrische Maschine kann zusammen mit dem benötigten Motor Controller ebenfalls 7% Kostenanteil am Gesamtfahrzeug erreichen. Elektrifizierte Nebenaggregate und Leistungselektronik erreichen zudem höhere Werte als beim Verbrennungsantrieb.

Um einen Überblick über mögliche Veränderungen im globalen Marktvolumen hinsichtlich der einzelnen sensiblen Komponenten vom heutigen Stand⁷² zum Jahr 2020 zu ermöglichen, wurden die aktuellen und zukünftig möglichen Absatzzahlen für Automobile bezüglich des Antriebskonzepts er-

mittelt (siehe hierzu Kapitel 2.2.1) und mit den ermittelten Komponentenkosten (heute/zukünftig) der jeweiligen Fahrzeugkonzepte multipliziert. Die Differenz des heutigen Marktvolumens einer Komponente mit der zukünftigen Abschätzung ergibt die Veränderung des Marktes der jeweiligen Kompo-

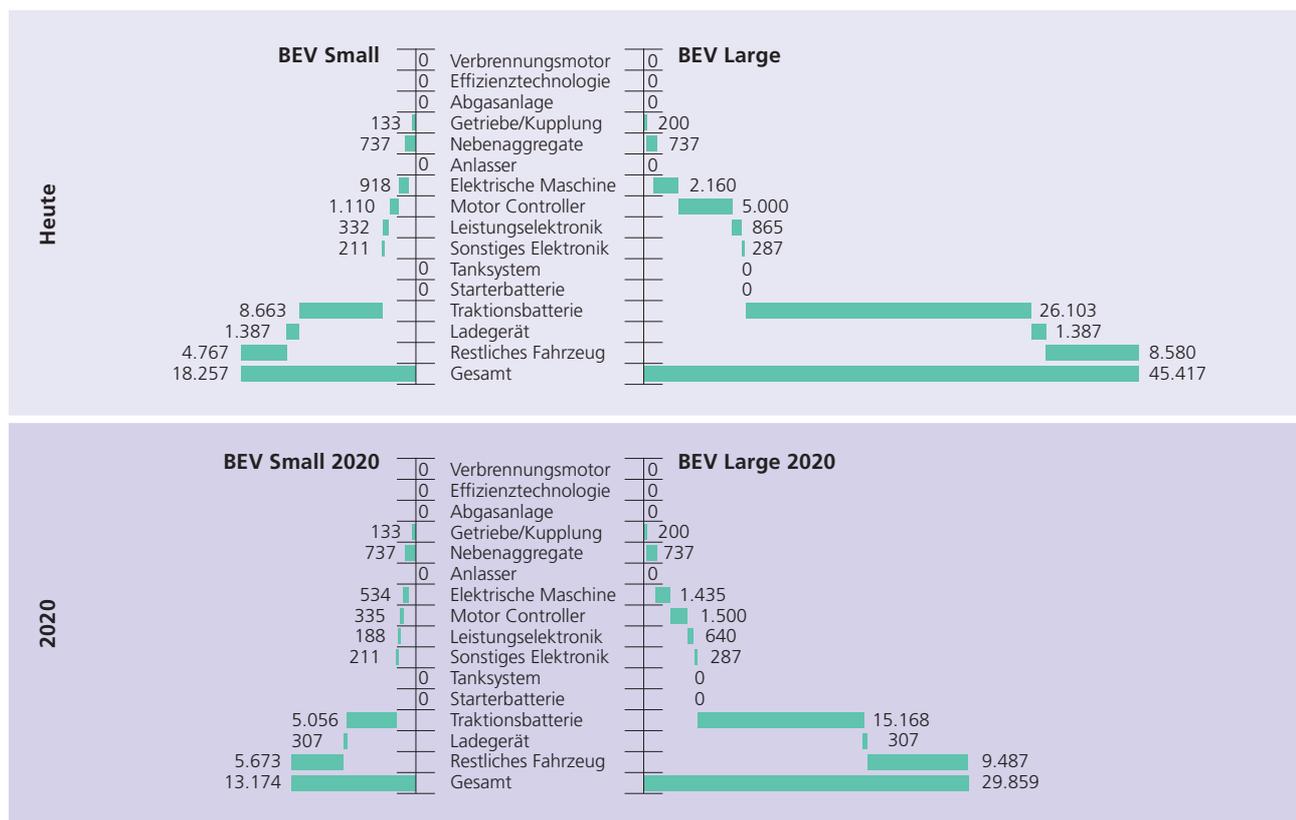


Abbildung 24: Vergleich Herstellkosten Heute – 2020 an zwei batterieelektrischen Fahrzeugen [in EUR]⁷¹

and Energy-Use Model”; Offer, G. et al. (2009): “Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system”; Frost & Sullivan Studie (2009): “360 Degree Analysis of the Global Electric Vehicle Market”; Naunheimer, H. (2009): „Das Elektrofahrzeug – Chance für Zulieferer“ Vortrag E-Motive; Christidis, P. et al. (2005): “Hybrids for road transport” JRC; ANL Delorme, A. et al. (2009): “Cost Benefit Analysis of Advanced Powertrains from 2010 to 2045”; ANL Vyas, A. et al. (2000): “Comparison of indirect cost multipliers for vehicle manufacturing”; ANL Cuenca, R. et al. (1999): “Evaluation of Electric vehicle Production and Operating Costs”; Aguiar, P. et al. (2006): “Feasibility study and techno-economic analysis of an SOFC/Battery hybrid system for vehicle applications”; Gutsch, A. (2009): “Energiespeicher Effizienz Sicherheit” Präsentation li-tec unpublished; Anderson, D. et al (2009): “An evaluation of current and future cost for lithium-Ion Batteries for use in electrified vehicle powertrains”, Eaves, S. et al. (2003): “A cost comparison of fuel-cell and battery electric vehicle”; Burgelman, R. et al. (2009): “The drive toward the electric mile”, <http://www.acpropulsion.com>; Williams, B. et al. (2006): “Commercializing light-duty plug-in/Plug-out hydrogen-fuel-cell vehicles” I 70 Dixon, L. et al (2002) “Driving Emission to Zero”; EPRI Graham, R. et al. (2001): “Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options”

3

Konsequenzen des Wandels für Baden-Württemberg

nente und lässt damit Rückschlüsse auf Beschäftigungseffekte in diesem Bereich zu. Diese globalen Effekte können anschließend unter Berücksichtigung der internationalen Positionierung Baden-Württembergs im Bereich Automobilbau für das Land heruntergerechnet werden.

Der klassische Verbrennungsmotor wird demnach in erheblichem Umfang an Wertschöpfung verlieren und weist im Jahr 2020 einen Marktvolumenverlust von 11,1 Mrd. € im Vergleich zum heutigen Stand auf. Dies ist sowohl auf eine Reduzierung der benötigten Motorgröße durch Downsizing für den großen Anteil an weiterhin abge-

setzten Verbrennungsfahrzeugen (ca. 74% vgl. Kapitel 2.2.1) als auch eine Reduzierung der benötigten Motorgröße für Hybride zurückzuführen. In Summe werden auch im Jahr 2020 ca. 97% (vgl. Kapitel 2.2.1) der abgesetzten Fahrzeuge einen Verbrennungsmotor beinhalten. Allerdings werden die Fahrzeuge eine geringere Verbrennungsmotorgröße aufweisen.

Die Verbrennungsmotoren werden jedoch gegenüber heute durch technologische Fortschritte wesentlich effizienter sein. Der Verlust an Marktvolumen durch die klassischen Verbrennungsmotoren kann so durch Technologien zur Effizienzverbesserung mehr als

kompensiert werden. Insgesamt ist ein Marktvolumenzuwachs von 43,4 Mrd. € für die Lösungen zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei der Wärmekraftmaschine zu erwarten. Das beinhaltet sowohl Lösungen am Motor selbst (VVTL, Direkteinspritzung, Reibungsreduktion, Zylinderabschaltung, etc.) als auch aus Komponenten im Umfeld des Motors („Stop-and-Go-Systeme“, zum Downsizing benötigte Turbolader, etc.).

Die Abgasanlage wird ebenfalls an Wertschöpfung gewinnen, da anzunehmen ist, dass weitere Abgasnachbehandlungen notwendig sind und Hybridfahrzeuge ebenfalls diese Kom-

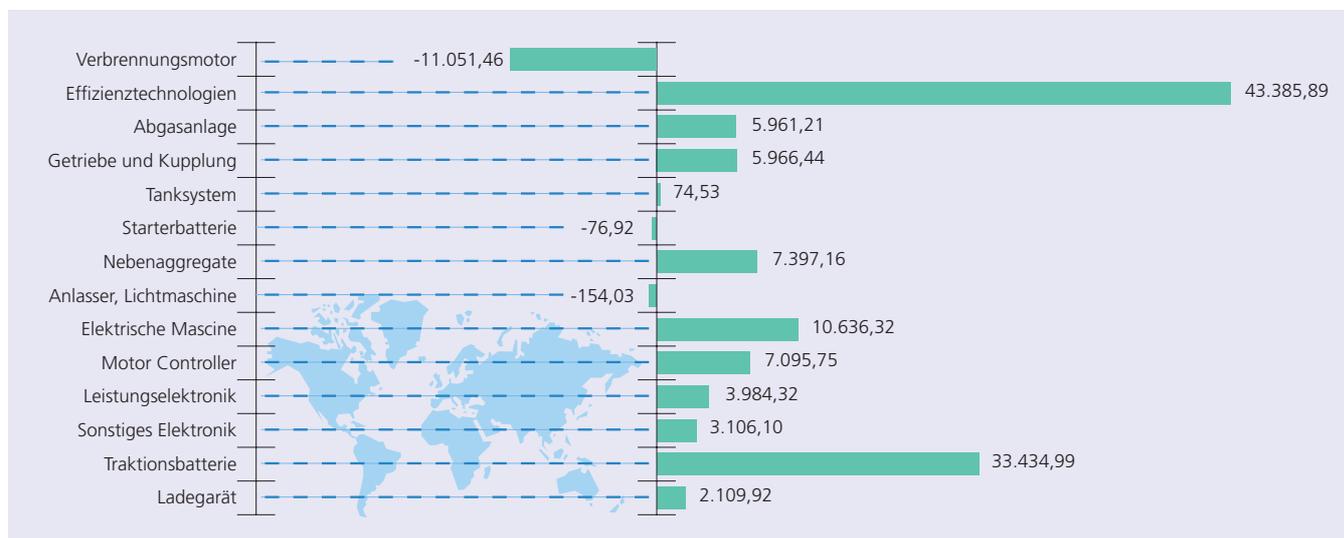


Abbildung 25: Änderung Globales Marktvolumen: Heute – 2020 [in Mio. EUR] ⁷³

71 Eigene Darstellung | 72 Als heutiger Wert wurden Verkaufszahlen in Höhe von 65 Mio. Fahrzeugen angesetzt, was dem Stand von 2008 entspricht. Vgl. hierzu A.T. Kearney (2009): "Auto 2020 – Passenger Cars – Expert Perspective" | 73 Eigene Darstellung | 74 Eigene Darstellung



ponente benötigen. Getriebe werden weiterhin eine starke Position einnehmen und sogar eine Steigerung im Marktvolumen bis 2020 erreichen. Es wird allerdings zu einer veränderten Ausrichtung innerhalb dieser Komponente kommen. Neben weiterhin eingesetzten und effizienzoptimierten Getrieben für reine Verbrennungsmotoren wird auch eine Vielzahl an teils aufwendigen Hybridgetrieben im Markt benötigt. Dies schlägt sich positiv im Marktvolumen nieder. Insbesondere Hybridgetriebe nehmen aufgrund der geringeren Anzahl an Fahrzeugen bisher eine untergeordnete Position ein und stellen bis 2020 ein Wachstumspotenzial dar.

In der Gruppe Nebenaggregate wurden auch die Komponenten Lenkung (Elektrischer Kompressor für elektrohydraulische und Komponenten für elektromechanische Lenkung) sowie die Klimatisierung integriert. Nebenaggregate werden weiter elektrifiziert, um bessere Verbrauchswerte bei reinen Verbrennungsfahrzeugen oder Hybriden zu erzielen. Dies führt auch zu höheren Kosten und damit steigendem Marktvolumen. Die Lichtmaschine wird bei einem Hybridfahrzeug durch den vorhandenen Generator ersetzt und muss Umsetzeinbrüche bis 2020 hinnehmen.

Die elektrische Maschine, Motor Controller, Leistungselektronik und sonstige

Elektronik können im Zuge der Elektrifizierung des Fahrzeugs naturgemäß stark zulegen und erreichen einen Umsatzzuwachs um 17,7 Mrd. € (E-Maschine und Regelung) sowie 7,1 Mrd. € (sonstige Elektronik und Leistungselektronik). Der Markt für Ladegeräte wird ebenfalls um 2,1 Mrd. € wachsen. Die Batterietechnologie liegt mit einem Zuwachs von 33,4 Mrd. € bis zum Jahr 2020 nach den Effizienztechnologien auf Platz zwei der Profiteure des Trends zum energieeffizienten Automobil.

Im Folgenden sollen die zu erwartenden Wertschöpfungsveränderungen und die daraus resultierenden Arbeitsplatzwirkungen für Baden-Württemberg

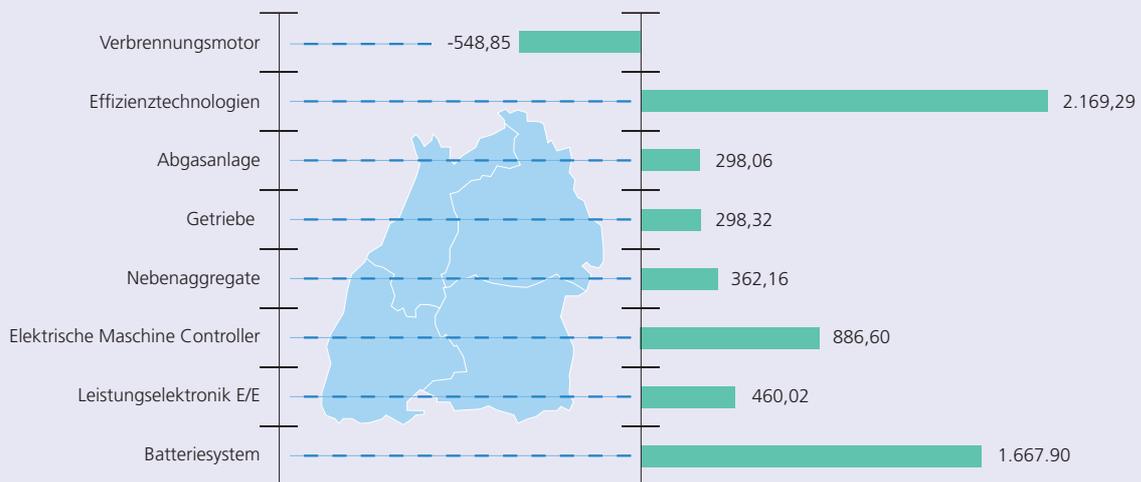


Abbildung 26: Änderung Marktvolumen für Baden-Württemberg: Heute – 2020 [in Mio. EUR]⁷⁴

berg analysiert werden. Diese wurden aus den ermittelten globalen Werten berechnet.⁷⁵ Eine Zusammenfassung wurde bei den Komponenten Verbrennungsmotor (Verbrennungsmotor und Tanksystem), Nebenaggregate (incl. Anlasser und Lichtmaschine), Elektrische Maschine (Elektrische Maschine, Motor Controller) und Traktionsbatterie (Traktionsbatterie und Starterbatterie) vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 26 zusammenfassend dargestellt.

Der klassische Verbrennungsmotor wird bis 2020 an Marktvolumen einbüßen. Für Baden-Württemberg ist in diesem Bereich ein Rückgang des Marktvolumens von fast 0,6 Mrd. € zu erwarten. Bei einem angenommenen Vollzeitäquivalent (FTE) je 300.000 € Produktionsumsatz, würde daraus ein Verlust von rund 1.800 Vollzeit-Arbeitsplätzen im Land resultieren.

Alle anderen Komponenten verzeichnen ein Wachstum in allerdings unterschiedlicher Größe. Dies erklärt sich zum einen aus steigenden Absatzzahlen bis 2020 (siehe Kapitel 2.2.1) und zum anderen aus neu benötigten Komponenten oder Eigenschaften. Neben dem bereits bestehenden Bereich der Effizienztechnologien für den Verbrennungsmotor (Marktvolumenvergrößerung 2,17 Mrd. € bzw. 6.500 FTE) weisen insbesondere die Bereiche elektrische Maschine und zugehörige Regelung (0,89 Mrd. € bzw. 2.950 FTE) sowie die Batteriezellenproduktion und Batteriesystem (1,67 Mrd. € bzw.

5.600 FTE) ein attraktives Wachstum auf. Auch die Bereiche Elektronik/Leistungselektronik (0,46 Mrd. € bzw. 1.500 FTE) sowie verbrauchsoptimierte oder modifizierte Nebenaggregate (0,36 Mrd. € bzw. 1.200 FTE) bis hin zum Getriebe (0,3 Mrd. € bzw. 990 FTE) und Abgasanlagen (0,3 Mrd. € bzw. 990 FTE) werden an Wertschöpfung zulegen können und bieten damit ein Beschäftigungspotenzial für Baden-Württemberg.

Ein für manchen vielleicht überraschendes Ergebnis dieser Berechnung ist, dass bis zum Jahr 2020 in den Technologien zur Erhöhung der Energieeffizienz des Verbrennungsmotors mehr Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential steckt als in der Herstellung von Batterien. Allerdings gilt es zu beachten, dass der Verbrennungsmotor selbst an Wertschöpfung verlieren wird und davon viele Unternehmen betroffen sein werden, welche auch im Bereich der Effizienztechnologien tätig sind. Hier sind also insgesamt gesehen eher ausgleichende Effekte zu erwarten, nach dem Motto „weniger Zylinder aber dafür anspruchsvoller“. Nachdem Baden-Württemberg als Technologieführer im Verbrennungsmotor bezeichnet werden kann, ist zu erwarten, dass maßgebliche Wertschöpfungsanteile wahrscheinlich über den angenommenen 5% Weltmarktanteil, im Bereich Effizienztechnologien auf Baden-Württemberg vereinigt werden können.

Bei den Komponenten Nebenaggregate, elektrische Maschine und Leistungselektronik ist Baden-Württemberg ebenfalls gut positioniert. In diesen Bereichen ist allerdings von einer steigenden Konkurrenz beispielsweise aus Asien auszugehen. Es werden daher Anstrengungen zum Erhalt und Ausbau der Technologieführerschaft notwendig sein, um das in diesen Bereichen zu erwartende Wertschöpfungspotenzial für das Land zu sichern.

Insbesondere im Themenfeld Batterie, in dem zwar ein hohes Technologie-, aber nur bedingtes Produktions-Know-how und noch weniger Produktionskapazität in Baden-Württemberg besteht, ist es sehr fraglich, ob ein Weltmarktanteil von 5% als Benchmark zum heutigen komponentenübergreifenden Weltmarktanteil Baden-Württembergs realisiert werden kann. Insbesondere bei einer Fortschreibung über die Jahre 2030 und 2040 hinweg wird klar, dass in der Batterie die maßgebliche Wertschöpfung der zukünftigen Automobilindustrie liegt. Es ist damit von zentraler Bedeutung, die Batterietechnologiekompetenz (vgl. 4.1.1) in den Forschungsinstituten (z.B. Fraunhofer ICT (Pfinztal), KIT (Karlsruhe), ZSW (Ulm)) und der Industrie (z.B. Daimler (Nabern), SB LiMotive (Stuttgart)) um Produktionskompetenz und vor allem Produktionskapazitäten zu erweitern. Hierzu sei auch explizit auf die Expertengespräche verwiesen: Während die Frage nach einer möglichen Technologieführerschaft Baden-

⁷⁵ McKinsey (2009): „Der Trend zu energieeffizienteren PKW“/ Eigene Berechnung; Vereinfachende Annahme: Aktuell 25% Umsatzanteil deutscher Zulieferer am Weltmarkt sowie 20% Anteil Baden-Württembergs am Umsatz deutschen Automobilmarkt



Prognosen und Meinungen – Expertengespräche

Württembergs im Themenfeld Batterie durchwegs positiv beurteilt worden ist, wurde die mögliche Produktionsführerschaft weit kritischer gesehen. Noch sind die „Felle“ der Elektromobilität nicht verteilt. Wo die Komponenten und Systeme der zukünftigen elektromobilen Automobilindustrie entwickelt und gefertigt werden, hängt dabei sowohl von der Innovationsfähigkeit der Unternehmen als auch einer überlegten Innovationsförderung und Standortpolitik der Bundes- und Landesregierung ab. Eine zentrale Bedeutung für die Innovationsfähigkeit der Unternehmen und die Attraktivität Baden-Württembergs als Elektromobilitäts-Standort kommt dabei entsprechend ausgebildeten und qualifizierten Fachkräften zu.

Deutschland fehlt eine Schlüsselkomponente für Elektromobilität.¹

Ein Einstieg neuer Unternehmen aus anderen Industriezweigen in den Automobilbau ist möglich, wird aber nicht einfach sein.²

Seriennahe Systemkompetenz kann ich bisher weder bei OEMs noch Zulieferern erkennen.³

Im Fahrzeugbau werden sich flachere Tier-Strukturen und eine neue sektorale Gliederung ergeben.³

Es werden neue Player auf den Markt drängen. Langfristig wird sich die Wertschöpfung aber auf wenige große OEM reduzieren.⁴

Elektromobilität bringt Chancen für neue und alte Player. Alte Player sind allerdings oftmals nicht in der Lage auf neue Technologien umzusatteln.⁵

Wenn wir es richtig anstellen, kann die Wertschöpfung steigen. Hier ist politisches Commitment wichtig.⁵

Generell könnte es passieren, dass sich die Wertschöpfung zu den Zulieferunternehmen verschiebt.⁵

Die Wertschöpfung von Automobil-, Zulieferindustrie und Maschinenbau in Deutschland wird stark davon abhängen, wie rasch es gelingt, gemeinsam das erforderliche Know-how im Bereich der Produktionstechnik aufzubauen.⁶

Zwei Trends werden die zukünftige Wertschöpfung beeinflussen: Optimierung der Verbrennungsmotors und neue Komponenten durch die Elektromobilität.⁷

Die Entwicklung von E-Motoren und Leistungselektronik sollte nicht vernachlässigt werden. Hier wird ein hohes Potenzial für den Mittelstand gesehen.⁶

Referenzen: 1 Experteninterview Dr. H. Döring (ZSW) vom 24.11.2009 | 2 Experteninterview Dr. L. Jörissen (ZSW) vom 13.11.2009 | 3 Experteninterview Dr. R. Reiner (WRS) vom 19.11.2009 | 4 Experteninterview A. Rupalla (RA Consulting) vom 25.11.2009 | 5 Experteninterview Prof. Dr. F. Pautzke (HS Bochum) vom 25.11.2009 | 6 Experteninterview Dr. W. Begemann (VDMA) vom 09.11.2009 | 7 Experteninterview Dr. T. Behr (Daimler) vom 16.11.2009

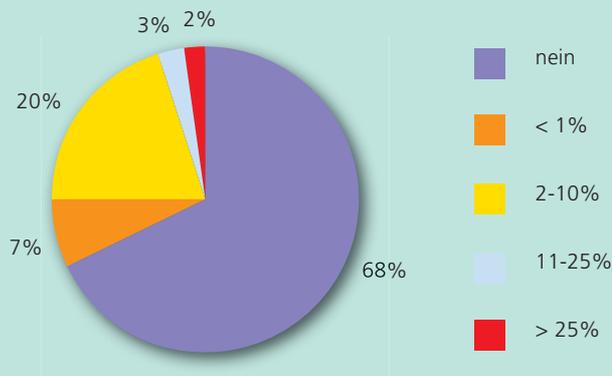
Prognosen und Meinungen – Quantitative Befragung

Eine Veränderung der Wertschöpfung der Automobilindustrie in Baden-Württemberg durch die Elektromobilität über die Zeit offenbart größer werdende Unterschiede: Während 63% der Unternehmen kurzfristig eine gleichbleibende Wertschöpfung sehen, sind es langfristig nur noch 27% der Befragten. Eine steigende Wertschöpfung wird langfristig von 44% der Befragten gesehen.

Umsatzrückgänge werden von 68% der Unternehmen aufgrund der Elektromobilität nicht erwartet. Lediglich 5% der Unternehmen erwarten einen Umsatzrückgang von über 10%

Während insgesamt 12% der Unternehmen sich als möglichen Verlierer sehen, glauben 31% zu den Gewinnern zu gehören.

Erwartete Umsatzrückgänge aufgrund der Elektromobilität



Veränderungen der Wertschöpfung der Automobilindustrie in Baden-Württemberg durch Elektromobilität



76 Anders an der Universität Ulm, an der der Lehrstuhl Elektrochemie immer gepflegt wurde, nicht zuletzt mit der Einführung des internationalen Masterstudiengangs „Energy Science and Technology“ im Wintersemester 2007/2008 (http://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/ensite/Pruefungsordnung.pdf) | 77 Im Rahmen des Konjunkturpakets II wurde die Kooperation der Universität Ulm, dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in Ulm sowie dem Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) gefördert, um nicht nur die Forschung, sondern auch die Ausbildung wissenschaftlichen Nachwuchses auszubauen. (<http://www.zsw-bw.de/info/press/KIT/090828PresseinformationHelholtzLabzsw.pdf>) | 78 Außerdem investiert die Robert Bosch AG in Reutlingen



3.3 Qualifizierungs- und Bildungsbedarf

Mit der Elektrifizierung des Antriebsstrangs gehen Änderungen in der gesamten Wertschöpfungskette einher, die nach speziell ausgebildeten Fachkräften verlangen. So müssen im Forschungs- und Entwicklungsbereich sowie im Bereich der Produktion und des Vertriebs neue Kompetenzen aufgebaut werden. Darüber hinaus erfordert die Elektromobilität angepasste Qualifikationen von Arbeitskräften für Wartung, Reparatur und Recycling. Heutzutage sind auf Deutschlands Straßen lediglich 1.500 batterieelektrische Fahrzeuge zugelassen, die meisten davon Konzeptfahrzeuge oder Prototypen. Eine serienmäßige Produktion, ein systematischer Vertrieb sowie das flächendeckende Reparieren oder Recyceln von Elektromobilen findet zurzeit nicht statt. Auch wenn diese Bereiche der Wertschöpfungskette nicht vernachlässigt werden dürfen, liegt das Hauptaugenmerk des Qualifizierungs- und Bildungsbedarfs derzeit im Gebiet der Forschung und Entwicklung.

Ein spezieller Fokus liegt dabei auf dem Themenfeld der Batterie. Damit Baden-Württemberg in Zukunft eine führende Rolle im Bereich Elektromobilität einnehmen kann, gilt es gezielt Kompetenzen in diesem Feld aufzubauen. Eine große Rolle spielt dabei der Nachwuchsmangel im Bereich der Elektrochemie. Da die Besetzung vieler dieser Lehrstühle vernachlässigt wurde, gin-

gen in Deutschland in den letzten Jahren Kompetenzen verloren.⁷⁶ Durch den konsequenten Ausbau der Forschung und Lehre zu elektrochemischen Energiespeichern in der Wissenschaftsstadt Ulm, verfügt Baden-Württemberg allerdings über einen hervorragenden Standort auf diesem Feld.⁷⁷

Neben dem Aufbau von Batterie-Kompetenzen sind weitere Qualifikationen gefragt, die nicht vernachlässigt werden dürfen. Beispielsweise hinsichtlich der Leistungselektronik: Hier werden die Bosch-Gruppe, die Hochschule Reutlingen, die Universität Stuttgart und das Land Baden-Württemberg mit der Gründung eines Studien- und Forschungszentrums für Leistungselektronik einen Forschungs- und Lehrverbund einrichten, der einzigartig in Deutschland ist. Dafür werden in den nächsten 10 Jahren im geplanten Verbund insgesamt 5 neue Professuren an der Hochschule Reutlingen und der Universität Stuttgart finanziert, welche mit der Schaffung neuer Bachelor- und Masterstudienplätze qualifizierten Nachwuchs ausbilden.⁷⁸

Solche Public-Private-Partnership-Konzepte gilt es gezielt für die Schaffung von Leuchttürmen in der Forschung und Entwicklung in Baden-Württemberg auszubauen. Ein weiteres Beispiel dafür ist das Projekthaus e-Drive, mit dessen Gründung im Jahre 2008 die Daimler AG und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Bereiche der Leistungselektronik, Steuerungs- und

Regelungstechnik sowie elektrische Energiespeicher und Elektromaschinen bündelt und somit wertvolle Synergien über traditionelle Fächergrenzen hinweg schafft. Mit der Daimler Stiftungsprofessur „Hybrid Electric Vehicle“, die eigentlich im Jahre 2009 besetzt werden sollte, sollen weitere Kompetenzen auf dem Gebiet elektrischer Antriebs- und Speichersysteme aufgebaut werden.

Da durch die Elektromobilität Änderungen für das komplette Fahrzeug einhergehen, muss die gesamte Elektrofahrzeugkompetenz in die Ausbildung des Ingenieur Nachwuchses integriert werden. Während im Bereich Batterie und Leistungselektronik schon einige Aktivitäten zur Schaffung entsprechender Qualifizierungen in Baden-Württemberg zu verzeichnen sind, gilt es weitere Kompetenzen, beispielsweise bezüglich Elektromotoren, nicht zu vernachlässigen.⁷⁹ Darüber hinaus darf nicht in strengen Fächergrenzen gedacht werden. Um moderne Elektrofahrzeuge entwickeln zu können, ist ein ganzheitliches Studienangebot erforderlich, wie dies beispielsweise durch die Stiftungsprofessur in Karlsruhe angestrebt ist. Diese Ansätze gilt es weiter auszubauen. Darüber hinaus ist zu prüfen, inwiefern bei der Ausbildung in den Fächern Maschinenbau und Elektrotechnik Anpassungen zur starken Stellung Baden-Württembergs in der Elektromobilität vorgenommen werden sollten.

in den Bau einer neuen Halbleiterfertigung und eines Testzentrums, für das in den nächsten Jahren qualifizierte Fachkräfte benötigt werden. (<http://www.atzonline.de/index.php?do=show/alloc=1/Ing=de/id=10808/site=a4e>) | 79 Der Aufbau von Kompetenz im Bereich Forschung befindet sich hier noch in den Anfängen (wie beispielsweise durch die geplante HEV-Stiftungsprofessur in Karlsruhe, oder erste Anfänge der Forschung von der Uni Stuttgart) (Vgl. Experteninterview)

3

Konsequenzen des Wandels für Baden-Württemberg

Vor allem im Bereich der Batterieforschung ist großes Potenzial durch die enge Verzahnung von Grundlagenforschung mit der angewandten Forschung zu sehen. Ziel muss es sein, aufgebaute Qualifikationen bezüglich Batterietechnologie auch für die Entwicklung von entsprechenden Produktionsanlagen nutzen zu können. Hier werden in Zukunft neben ausgebildeten Forschern und Entwicklern auch Fachkräfte für die Produktion und den Vertrieb gefragt sein.

Auch der After-Sales-Bereich darf neben den Bemühungen zum Aufbau von Kompetenzen in der Forschung und Entwicklung nicht aus den Augen verloren werden. Im Zusammenhang mit dem steigenden Anteil der Elektronik, den veränderten Spannungen im Bordnetz sowie den starken Strömen beim Laden von Elektromobilen, ist Ausbildungsbedarf und die Schaffung neuer Kompetenz in Kfz-Werkstätten und im Bereich elektromobiler Infrastruktur zukünftig nötig.

Für die Wartung, Störungsbeseitigung und Instandsetzung ist in den Werkstätten des Kfz-Handwerks eine grundlegende Erweiterung des Kompetenzprofils erforderlich. Die veränderten Anforderungen, insbesondere durch die Umstellung vom Niederspannungsbereich in den Mittel- bis Hochspannungsbereich, bringen für die Serviceberufe ein gänzlich geändertes Gefahrenpotenzial mit sich. Auch wenn aus heutiger Sicht nicht absehbar ist, ob die eigentlichen Wartungsarbeiten an

spannungsfrei geschalteten Fahrzeugen erfolgen, sind die eingesetzten Mitarbeiter in die Grundlagen der einschlägigen Elektrik und Elektronik einzuführen. Diese Inhalte sind zum einen in die Ausbildung des Kraftfahrzeugmechatronikers zu integrieren und zum anderen sind bereits ausgebildeten Mitarbeiter weiterzubilden. Für Mitarbeiter aus dem LowVoltage-Bereich wäre eine umfassende Nachqualifikation im Bereich „Arbeiten an Mittel- und Hochspannungsanlagen“ erforderlich. Für die weit überwiegende Zahl der Mitarbeiter könnte eine (elektrotechnische) „Fachkraft für festgelegte Tätigkeiten in der Elektromobilität“ als Fortbildungsprofil entwickelt werden. Insgesamt wären davon nach Stand 2008 in Baden-Württemberg 7.923 Betriebe des Kraftfahrzeughandwerks mit rund 54.000 Beschäftigten, darunter 7.086 Auszubildende im Kraftfahrzeugmechatronikerhandwerk⁸⁰, betroffen.

Für die Mitarbeiter der Handwerksbetriebe, die den Aufbau und die Wartung der elektrotechnischen Infrastruktur für die Elektromobilität übernehmen, besteht ebenfalls ein umfassender Qualifizierungsbedarf. Aufgrund der Gefahrenneigung der auszuführenden Arbeiten, beispielsweise bei der Installation und Wartung von Stromtankstellen, kommen hierfür voraussichtlich nur einschlägig qualifizierte Elektrotechniker in Betracht. Analog zu den Kraftfahrzeugmechatronikern sind die Ausbildungsinhalte bei

den Berufen Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik, Elektroniker für Automatisierungstechnik und Elektroniker für Maschinen und Antriebstechnik entsprechend zu ergänzen. Die Hauptaufgabe liegt darin, die in den Handwerksunternehmen beschäftigten Mitarbeiter nachzuqualifizieren. Dies betrifft vorrangig die Mitarbeiter der auf die Installation und Wartung gewerblicher Objekte (wie beispielsweise Tankstellen) spezialisierten Betriebe. Aufgrund des Bedarfs der Installation von Ladestationen in privat genutzten Garagen oder auf Firmenparkplätzen dürften sich zusätzlich Aufgaben für den weit überwiegenden Teil der Betriebe des Elektrohandwerks eröffnen. Hiervon wären in Baden-Württemberg (Stand 2008) insgesamt 8.643 Betriebe des elektrotechnischen Handwerks mit ca. 36.000 Beschäftigten, davon 4.152 Auszubildende⁸¹, betroffen.

⁸⁰ Betriebsstatistik des Kraftfahrzeugtechnikerhandwerks, Verband des Kraftfahrzeuggewerbes Baden-Württemberg (http://www.kfzbw.de/verband/zahlenfakten/index_20051018145729.html) | ⁸¹ Betriebsstatistik der elektro- und informationstechnischen Handwerke. Jahresbericht 2009 des Fachverbands Elektro- und Informationstechnik

Prognosen und Meinungen – Expertengespräche

Wichtig ist die Ausbildung im Bereich Elektrochemie und Batterie. Hier muss von der Bildung an Universitäten bis hin zum Handwerk neue Kompetenz aufgebaut werden.¹

In der Wissenschaft besteht momentan Expertenmangel.²

Heute stürzen sich viele auf das Thema Elektromobilität. Allerdings gibt es keine Player, die sich in den letzten 10 Jahren konsequent mit dem Thema beschäftigt haben.³

Bisher ist noch kein Know-how Rückstand im Bereich Human Resources für die Elektromobilität gegenüber dem Ausland zu erkennen, dies liegt allerdings auch an dem allgemein eher niedrigen Niveau.⁴

Wichtig ist die rechtzeitige Ausbildung von Fachkräften: hier müssen frühzeitig Bedarfsprofile ausgearbeitet und in den Curricula berücksichtigt werden.⁴

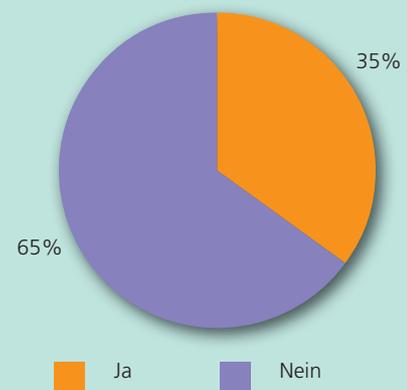
Prognosen und Meinungen – Quantitative Befragung

66% der Unternehmen sehen keinen Verlust von Arbeitsplätzen als Konsequenz des Wandels zur Elektromobilität in Ihrem Unternehmen. Lediglich 19% der Befragten gaben an, mehr als 2% der Arbeitsplätze gefährdet zu sehen.

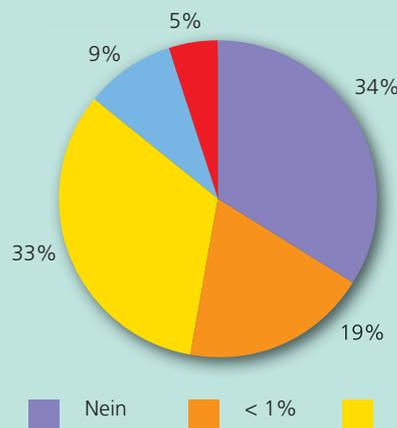
Demgegenüber gaben 47% der Befragten an, Chancen für mehr als 2% neue Arbeitsplätze durch die Elektromobilität in Ihrem Unternehmen zu sehen.

Über 35% der Unternehmen gaben an, dass keine oder nicht ausreichend qualifizierte Fachkräfte momentan zur Verfügung stehen.

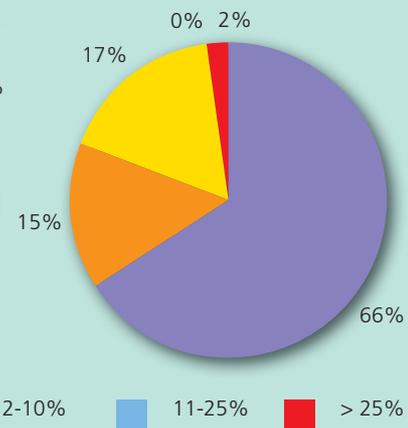
Ausreichend qualifizierte Fachkräfte für Elektromobilität stehen zur Verfügung



Erwarteter Gewinn an Arbeitsplätzen



Erwarteter Verlust an Arbeitsplätzen



Referenzen: 1 Experteninterview Dr. H. Döring (ZSW) vom 24.11.2009 | 2 Experteninterview Dr. T. Behr (Daimler) vom 16.11.2009 | 3 Experteninterview Prof. Dr. F. Pautzke (HS Bochum) vom 25.11.2009 | 4 Experteninterview Dr. R. Reiner (WRS) vom 19.11.2009

3.4 Elektromobile Infrastruktur

Damit eine breite Einführung von elektromobilen Antriebskonzepten überhaupt erst möglich wird, ist der Aufbau einer flächendeckenden Infrastruktur an Ladestationen (Plug-In Fahrzeuge) bzw. entsprechender Tankstellen (Brennstoffzellen-Fahrzeuge) notwendig. Dabei ist der große Vorteil von Plug-In gegenüber Brennstoffzellenbetriebenen Fahrzeugen, dass mit den privaten Stromanschlüssen bereits eine zumindest rudimentäre Infrastruktur vorhanden ist. So könnte beispielsweise die Steckdose bzw. der Stromanschluss in der Garage genutzt werden, um das Plug-In Fahrzeug über Nacht aufzuladen. Diesen Vorteil gilt es unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten nutzbar zu machen. Dabei ist jedoch stets im Auge zu behalten, dass diese rudimentäre Infrastruktur weder ausreichen wird die Elektromobilität für eine breite Bevölkerungsschicht attraktiv zu machen, noch das Potenzial der Plug-In Fahrzeuge für eine Stabilisierung des Energienetzes heben kann.

Eine Wasserstoff-Tankstellen-Infrastruktur muss von Grund auf neu aufgebaut werden und erfordert hohe Investitionen. So rechnet Linde für jede H₂-Tankstelle mit Kosten über 1 Mio. €⁸². Das vielzitierte „Henne-Ei-Problem“ ist damit bei einer Wasserstoff-Infrastruktur sehr viel größer zu bewerten als bei einer Ladestationen-Infrastruktur mit Investkosten von wenigen hundert (privater Raum) bis wenigen tausend

(privat-öffentlicher/öffentlicher Raum) Euro je Säule⁸³.

Die Wasserstoff-Infrastruktur ist damit in sehr viel höherem Maße als Ladestationen von staatlicher Unterstützung sowie von einem konzertierten Vorgehen der relevanten Akteure (Automobilhersteller, Wasserstoff-Produzenten, Tankstellenbetreiber etc.) abhängig. Das Zusammenspiel der Akteure gut demonstriert hat die Wasserstoff-Tankstelle am Stuttgarter Flughafen, die im Juni 2009, gefördert von der Landesregierung und in Kooperation der OMV, mit der Daimler AG und der Linde AG, als erste öffentliche Wasserstoff-Tankstelle Baden-Württembergs eröffnet wurde.⁸⁴

Batterieelektrische Fahrzeuge erfordern und ermöglichen im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen völlig neue Formen des „Betankens“. So kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der heute noch relativ langen Ladezeiten ein batterieelektrisches Fahrzeug in der Regel dort betankt wird, wo es parkt. Neben privatem Raum, wie beispielsweise in Garagen oder auf privaten Stellplätzen, können Ladestationen auch im privat-öffentlichen Raum, wie beispielsweise auf Firmenplätzen oder Parkhäusern (hier sei auf die Allianz des Parkhausbetreibers Apcoa und RWE verwiesen), oder im öffentlichen Raum aufgebaut werden. Darüber hinaus wird auf längere Sicht ein Netz an Ladestationen nötig sein, welches es möglich macht, auch Überlandfahrten und Langstrecken mit

dem Elektrofahrzeug zurücklegen zu können. Wo Ladestationen sinnvollerweise platziert werden, hängt in erster Linie von den Mobilitätsansprüchen der Nutzer ab. Das Nutzerverhalten (Fahrwege, Standzeiten und -orte) gilt es demnach, beginnend mit den heutigen Feldversuchen⁸⁶ kontinuierlich zu analysieren und auszuwerten. Neben einer im ersten Schritt strategischen Platzierung und im zweiten Schritt hohen Dichte des Ladenetzes, sind außerdem Ladestationen mit standardisierten Steckern, einer leichten und sicheren Bedienung sowie einer einfachen und transparenten Abrechnung nötig. Neben der Möglichkeit einer Standardaufladung mit Wechselspannung (16/32A bei 220/400V) existieren auch Schnellladekonzepte mit Gleich- oder Drehstrom (200A bei 400V). Zwar lassen sich durch die Schnellladung die Ladezeiten signifikant reduzieren (von ca. 7 Stunden auf bis zu 30 Minuten⁸⁷), allerdings schadet die Schnellladung der Batterie und ist noch komplizierter mit einem Geschäftsmodell zu hinterlegen. Einen weiteren Lösungsvorschlag zur Überwindung der langen Ladedauer stellen Batteriewechselstationen dar, bei denen leere Batterien nicht aufgeladen, sondern gegen bereits vollgeladene Batterien ausgewechselt werden.⁸⁸ Bezüglich der Wechselstationen, die maßgeblich von der Firma Better Place propagiert werden, ist festzustellen, dass bislang lediglich der Automobilhersteller Renault/Nissan ein entsprechendes Konzept unterstützt, während

82 Hzwei-Magazin, Oktober 2009



	Einzelgaragen	Privater Stellplatz	Öffentlicher Parkplatz	Straßenparkplatz	Schnellladung	Batteriewechsel
						
Ladestandort	<ul style="list-style-type: none"> Private Garage Außenparkplatz auf Privatgrundstück 	<ul style="list-style-type: none"> Private/Firmengarage Privater/Firmenparkplatz 	<ul style="list-style-type: none"> Öffentliche Parkplätze (z.B. Einkaufszentrum) 	<ul style="list-style-type: none"> Parkplatz am Straßenrand 	<ul style="list-style-type: none"> Öffentliche Parkplätze Tankstellen Parkhäuser 	<ul style="list-style-type: none"> Autobahn Überland
Stärken	<ul style="list-style-type: none"> Günstig Bequem Lange Ladezeiten möglich (über Nacht) Kein Vandalismus zu befürchten 	<ul style="list-style-type: none"> Bequem Lange Ladezeiten möglich (während der Arbeitszeit) Kein Vandalismus zu befürchten 	<ul style="list-style-type: none"> Allgemeine Verfügbarkeit Sichtbarer Standort schafft Vertrauen in EV-Technologie 	<ul style="list-style-type: none"> Allgemeine Verfügbarkeit Sichtbarer Standort schafft Vertrauen in EV-Technologie 	<ul style="list-style-type: none"> Schnelle Ladung Allgemeine Verfügbarkeit Über Drehstromanschluss möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Schnelle Wechselzeit Kapazität des Batterielager kann zur Pufferung von Stromspitzen vermietet werden
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> Nur für den Teil der Nutzer möglich, die zu Hause einen Parkplatz haben 	<ul style="list-style-type: none"> Nur für den Teil der Nutzer möglich, die Zugang zu einem privaten Parkplatz haben 	<ul style="list-style-type: none"> Keine langen Parkzeiten/ Ladezeiten Vandalismusgefahr 	<ul style="list-style-type: none"> Teurer als öffentlicher Parkplatz Vandalismusgefahr 	<ul style="list-style-type: none"> Überhitzungsgefahr Komplexe Ladestation nötig 	<ul style="list-style-type: none"> Standardisierung der Batterie/ Batteriehalterung erforderlich Teure Infrastruktur Technisch anspruchsvoll
Investitionskosten [EUR]	0 – 500	1.500 – 2.500	2.000 – 4.500	3.000 – 5.000	20.000	350.000

Private Ladeinfrastruktur
 Öffentliche Ladeinfrastruktur

Abbildung 27: Ladestationen für Elektrofahrzeuge im Vergleich⁸⁵

83 BMU (2009): „Konzept eines Programms zur Markteinführung von Elektrofahrzeugen“, <http://www.bmu.de/verkehr/downloads/doc/44962.php> | 84 http://www.umweltdialog.de/umweltdialog/mobilitaet/2009-06-18_Wasserstoff_Tankstelle_mit_neuer_Betankungstechnik.php | 85 McKinsey (2009): „Der Trend zu energieeffizienten PKW“ und eigene Recherchen/Darstellung | 86 <http://www.bmvbs.de/artikel-,302.1092406/Modellregionen-Elektromobilita.htm> | 87 PWC (2009): Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf die Stromwirtschaft, S.10 | 88 <http://www.betterplace.com/>

die deutschen Automobilhersteller dem Batteriewechselkonzept sehr zurückhaltend gegenüberstehen. Elektrofahrzeuge könnten in Zukunft als Teil eines intelligenten Versorgungsnetzes („Smart Grid“) netzseitige Systemdienstleistungen anbieten. Das batteriebetriebene Fahrzeug könnte so dem Netz zu lastschwachen Zeiten Strom entnehmen und ihn bei großer Last wieder zur Verfügung stellen. Hierfür ist die Bidirektionalität des Netzanschlusses ein entscheidender Faktor. Unter Bidirektionalität wird dabei die Fähigkeit des Fahrzeuges verstanden, elektrische Energie sowohl beziehen als auch ins Stromnetz zurückspeisen zu können (Vehicle-to-Grid und Grid-to-Vehicle). Eine signifikante Marktdurchdringung vorausgesetzt, könnten Fahrzeuge so im Bereich der Regelenergiebereitstellung (vgl. dazu „Struktur des Energienetzes“) lohnenswert eingesetzt werden und eine wichtige Rolle im Rahmen der Integration der stochastischen Einspeisung Erneuerbarer Energien leisten. Für die nahe Zukunft sinnvoller und ohne größeren Aufwand machbar, ist allerdings zunächst das geregelte Aufladen von Plug-In Fahrzeugen (Grid-to-Vehicle). Bidirektionales Laden/Entladen, welches umfangreiche Investitionen in die Infrastruktur erfordert, wird erst ab einer signifikanten Marktdurchdringung von Plug-In Fahrzeugen wirtschaftlich sinnvoll (frühestens 2020) und ist daher in einem längerfristigen Kontext zu betrachten.

Struktur des Energienetzes

Stromlieferanten und Stromkunden werden in Bilanzkreisen zusammengefasst. Die vom Lieferanten erzeugte oder zugekaufte elektrische Energie muss zu jedem Zeitpunkt mit der Stromabgabe an den Kunden in Deckung gebracht werden. Dazu ist eine Lastprognose notwendig, die mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist. Deswegen kommt es immer wieder zu Abweichungen zwischen der Einspeisung des Lieferanten und der tatsächlichen Abnahme des Kunden. Um diese Abweichungen ausgleichen zu können, wird durch den Übertragungsnetzbetreiber positive oder negative Ausgleichsenergie bereit gestellt. Da allerdings zahlreiche Bilanzkreise existieren und positive und negative Bilanzabweichungen der einzelnen Bilanzkreise gleichzeitig auftreten, kompensieren sich diese teilweise. Lediglich Prognoseabweichungen für eine gesamte Regelzone müssen durch sogenannte Regelleistungen ausgeglichen werden.

Das deutsche Stromnetz ist dem zu erwartenden Lastzuwachs durch die Elektromobilität gewachsen; insbesondere dann, wenn eine geregelte Ladung der Fahrzeuge erfolgt und die Schnellladung nur begrenzt nachgefragt wird. Bedeutendere Investitionen in die Verstärkung des Stromnetzes werden erst ab einer signifikanten Marktdurchdringung mit Plug-In Fahrzeugen notwendig sein.⁸⁹

⁸⁹ PWC (2009): „Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf die Stromwirtschaft“, S. 10



Prognosen und Meinungen – Expertengespräche

Dennoch ist der Aufbau einer Ladeinfrastruktur für Energieversorger mit hohen Investitionen verbunden, welche alleine durch den Stromverkauf vermutlich nicht zu amortisieren sind. Es sind innovative, tragfähige Geschäftsmodelle gefragt, welche einerseits die Finanzierbarkeit und andererseits die Nachhaltigkeit der Ladeinfrastruktur sicherstellen müssen. Hierbei ist eine verstärkte Kooperation der Automobil- und Zulieferindustrie, der Elektrotechnikindustrie, der Softwareindustrie sowie der Elektrizitätswirtschaft und Bauindustrie notwendig. Darüber hinaus müssen vor allem Städte und Kommunen an der Diskussion um den Aufbau einer Infrastruktur beteiligt werden, um besser auf die speziellen, unterschiedlichen Situationen vor Ort eingehen und Nachhaltigkeit gewährleisten zu können. So sollten nicht nur die großen Energieversorger, sondern auch Stadtwerke vor Ort in den Aufbau der Infrastruktur eingebunden werden. Vor allem bei einer engen Verzahnung mit Stadtplanung und dem Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) könnten so ganzheitliche Mobilitätskonzepte implementiert und eine nachhaltige Stadt- und Verkehrsentwicklung betrieben werden.

Die Infrastruktur für batteriebetriebene Elektromobile steht. Eine komplett neue Infrastruktur für die Brennstoffzelle wird es nicht geben.¹

Energieversorger und Gemeinden müssten im Idealfall jetzt mit dem Aufbau der Infrastruktur beginnen.²

Das Ziel der Bundesregierung von 1 Mio. Fahrzeuge bis 2020 kann übertroffen werden. Dies ist allerdings abhängig von dem Aufbau eines flächendeckenden Netzes an Lade- und Wechselstationen.²

Referenzen: 1 Experteninterview Prof. Dr. F. Pautzke (HS Bochum) vom 25.11.2009 | 2 Experteninterview B. Kappenstein (Metropolregion Rhein-Neckar) vom 13.11.2009

4

Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität

4.1 Akteure und Kompetenzen im Bereich der Elektromobilität

Das Thema „Elektromobilität“ wird in Baden-Württemberg aktiv vorangetrieben: Automobilhersteller, Automobilzulieferer, Energieversorger und viele Unternehmen weiterer Branchen befassen sich mit elektromobilen Antriebskonzepten. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Universitäten und Forschungseinrichtungen, die das Thema der Elektromobilität in unterschiedlichen Projekten – von den Grundlagen bis zur Anwendung – beforschen. Insgesamt wurden in den unterschiedlichen Bereichen der Elektromobilität ca. 200 Akteure identifiziert (vgl. Abbildung 28). Dabei handelt es sich um

eine Aufzählung der in den identifizierten Projekten, Initiativen und Verbänden im Bereich der Elektromobilität aktiven baden-württembergischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen.⁹⁰ Die hohe Zahl an Akteuren im Bereich der Brennstoffzelle lässt sich maßgeblich durch die sehr viel längere (jüngere) Historie des Themas und der damit verbundenen, sehr guten Datenlage⁹¹ über alle Akteure entlang der Wertschöpfung, von der Infrastruktur und Brennstoffbereitstellung bis hin zur Herstellung des Brennstoffzellensystems zurückführen.⁹² Die Aktivitäten und Positionierung von Baden-Württemberg hinsichtlich der einzelnen Kernthemen der Elektromobilität werden im Folgenden analysiert.

4.1.1 Batterietechnik

Die Batterietechnik ist in Baden-Württemberg besonders im Bereich der Forschung und Entwicklung gut aufgestellt. Mit dem Ulmer Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) und der Universität in Ulm ist Baden-Württemberg ein Standort mit hervorragenden Kompetenzen auf dem Gebiet der Elektrochemie. So hat die Universität Ulm mit dem Lehrstuhl für Elektrochemie kontinuierlich Forschung auf dem Feld der Batterietechnik betrieben. Das ZSW beschäftigt sich von der Entwicklung neuer Speichermaterialien bis hin zu Batteriesystem- und Sicherheitstests mit einem breiten Spektrum an Fragestellungen zur Energiespeicherung in Batterien und Superkondensatoren.⁹⁴ Neben der Mitarbeit in der Innovationsallianz „Lithium Ionen Batterie LIB 2015“⁹⁵ ist das ZSW auch am „Elektrochemie Kompetenz-Verbund-Süd“ beteiligt. In diesem Verbund arbeiten weitere Forschungseinrichtungen aus Baden-Württemberg, wie das Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), die Universität Ulm, das Max-Planck-Institut für Festkörperforschung sowie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Stuttgart.⁹⁶ Darüber hinaus sind auf dem Gebiet der Batterietechnik das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT sowie das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM als Know-how-Träger zu nennen. Diese beiden Fraunhofer-Institute sollen im Rahmen der Landesinitiative Elektromobilität im

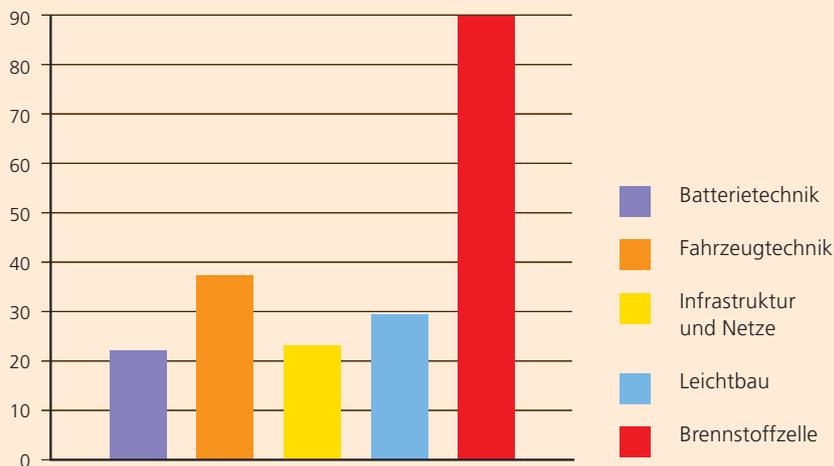


Abbildung 28: Anzahl der Akteure in Baden-Württemberg in den Kernthemen der Elektromobilität⁹³

90 Dabei wurden die unterschiedlichen Institute der gleichen Forschungseinrichtung/Universität in der Zählung einzeln berücksichtigt. Einige Unternehmen und Forschungseinrichtungen sind dabei in mehr als einem Bereich der Elektromobilität aktiv. | 91 http://www.bza-bw.de/files/wertschoepfungskette_brennstoffzellen_09-03-13.pdf - aufgerufen am 26.11.2009 | 92 Der Bereich „Infrastruktur und Netze“ beinhaltet demnach keine Aktivitäten im Bereich der Infrastruktur für Brennstoffzellenfahrzeuge. | 93 Eigene Darstellung | 94 <http://www.zsw-bw.de/topics/batteries.html> | 95 <http://www.bmbf.de/de/11828.php> | 96 <http://www.materialsgate.de/mnews/4571/Batterien+f%C3%BCr+die+Elektroautos+von+morgen.html>



Aufbau einer Fraunhofer-Projektgruppe „Neue Antriebe“ gefördert werden, mit dem Ziel, mittelfristig ein neues Fraunhofer-Institut im Land anzusiedeln.⁹⁷

Neben Forschungseinrichtungen beschäftigen sich auch Unternehmen mit dem Bereich Batterietechnik, wie zum Beispiel SB LiMotive, das Joint Venture der Robert Bosch GmbH und Samsung SDI, das einen Teil seiner Entwicklung in Stuttgart vorantreibt (speziell im Bereich der Batterie-Packs und Batteriesysteme).⁹⁸ Ein weiteres Joint Venture wurde zwischen Daimler und Evonik mit der Deutschen Accumotive GmbH

& Co. KG gegründet. Ziel ist es, aus Batteriezellen Gesamtbatteriesysteme herzustellen, wobei im baden-württembergischen Nabern, dem Hauptsitz des Joint Ventures, Forschung und Entwicklung betrieben wird. Der künftige Produktionsstandort wird in Kamenz in Sachsen, in unmittelbarer Nähe zur Li-Tec Battery GmbH aufgebaut.¹⁰⁰

Das Unternehmen Leclanché S.A. mit der Business Unit Leclanché Lithium und ihrem Beschichtungszentrum in Willstätt beherrscht die gesamte Technologie zur Herstellung von Akkumulatoren und Akkumulatorensystemen.¹⁰¹ Auch die Varta Microbattery GmbH

in Ellwangen beschäftigt sich mit der Forschung und Entwicklung von Lithium-Batterien. Ende September 2009 wurde eine Zusammenarbeit zwischen Volkswagen und Varta Microbattery angekündigt, um die Entwicklung von Batteriesystemen für elektromobile Fahrzeuge voranzutreiben.¹⁰²

Darüber hinaus beschäftigen sich weitere Unternehmen im Land, wie beispielsweise die Manz Automation AG mit Fertigungstechnologien zur Herstellung von Batterien. Im Rahmen der Innovationsallianz „Produktionsforschung für Hochleistungs-Lithium-Ionen-Batterien für Elektromobilität“ will die Manz Automation AG zusammen mit anderen Partnern Fertigungstechnologien erforschen und auf die Anforderungen einer Großserienfertigung übertragen.¹⁰³ Der Stuttgarter Anlagenbauer M+W Zander will mit einem neu entwickelten Konzept einer modularen Fabrik für den Batteriefabrikbau zur kostengünstigen, industriellen Serienfertigung von Lithium-Ionen Akkus beitragen.¹⁰⁴

Eine Übersicht über die identifizierten Akteure auf dem Gebiet der Batterieforschung ist in Abbildung 29 gegeben. Die Batterie wird mit 30-40% einen bedeutenden Wertschöpfungsanteil zukünftiger batteriebetriebener Elektrofahrzeuge einnehmen (vgl. Kapitel 3.2). Ganz entscheidend für die Bedeutung Baden-Württembergs in einer elektromobilen Automobilindustrie wird sein, die Position als führender

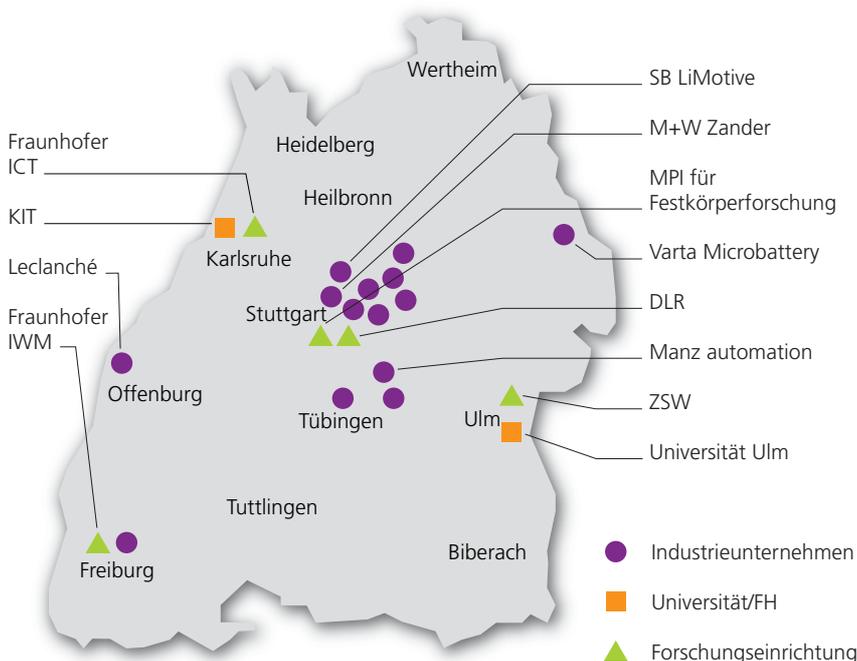


Abbildung 29: Landkarte Akteure Batterietechnik⁹⁸

97 Pressestelle der Landesregierung BW (2009): Pressemitteilung Nr. 359/2009 am 24. November 2009 | 98 Eigene Darstellung | 99 <http://www.sblimotive.com/de/home.html> | 100 Die Li-Tec Battery GmbH ist ein weiteres Joint Venture zwischen Daimler und Evonik: 50,1% der Anteile liegen bei Evonik, 49,9% der Anteile bei Daimler. Bei der Deutsche Accumotive GmbH liegen die Anteile hingegen zu 90% bei Daimler und zu 10% bei Evonik. Vgl. dazu auch <http://www.automobil-produktion.de/2009/09/jede-baureihe-mit-hybrid-variante/> | 101 <http://www.leclanche.ch/html/de/content/presentation/struct-lithium.php> | 102 Vorbehaltlich der Zustimmung der zuständigen Kartellbehörde, vgl. http://www.vartamicrobattery.com/en/mb_data/documents/press_releases_PR20090925_VARTA_VW_de.pdf | 103 http://www.bw-invest.de/deu/index_deu_6047.aspx?c=090804-bw-invest-de-elektromobilitaet | 104 <http://www.iwr.de/news.php?id=1408>

4

Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität

Batterieforschungs- und Entwicklungsstandort zu nutzen, um auch Produktionsstätten im Land anzusiedeln. Es muss erklärtes Ziel sein, die gesamte „Wertschöpfungskette Batterie“ in Baden-Württemberg abzubilden. Während die eigentliche Batterieherstellung von der Zelle über das Modul bis zum System (vgl. Kapitel 2.1.2) aufgrund der immensen Investitionskosten großen Unternehmen vorbehalten sein wird, liegen in dem Bereich der Produktionsausrüstung auch für kleine und mittelständische Unternehmen Innovationspotenziale.

4.1.2 Fahrzeugtechnik

Die im Fahrzeugbereich aktiven, identifizierten Akteure in Baden-Württemberg sind in Abbildung 50 dargestellt. Dabei ist in Baden-Württemberg vor allem die Robert Bosch GmbH auf den Gebieten „Leistungselektronik“ und „Elektromotor“ aktiv. Als Partner des vom BMBF geförderten Projektes »ePerformance« arbeitet sie zusammen mit anderen Industrie- und Forschungseinrichtungen (wie z.B. Audi AG und RWTH Aachen) an der Entwicklung eines grundlegend neuen Fahrzeugkonzepts für Elektrofahrzeuge.¹⁰⁵

Mit der Gründung des Robert Bosch Zentrums für Leistungselektronik in Partnerschaft mit der Hochschule Reutlingen und der Universität Stuttgart, investiert die Robert Bosch GmbH darüber hinaus in den nächsten 10 Jahren rund 15 Mio. € in den Ausbau neuer Professuren und Infrastruktur an den künftigen Standorten Reutlingen und Stuttgart, weitere 11,8 Mio. € werden von der Landesregierung zur Verfügung gestellt. Mit über 600 Millionen Euro investiert Bosch außerdem in Reutlingen in den Bau einer neuen Halbleiterfertigung und eines Testzentrums. In den nächsten Jahren werden

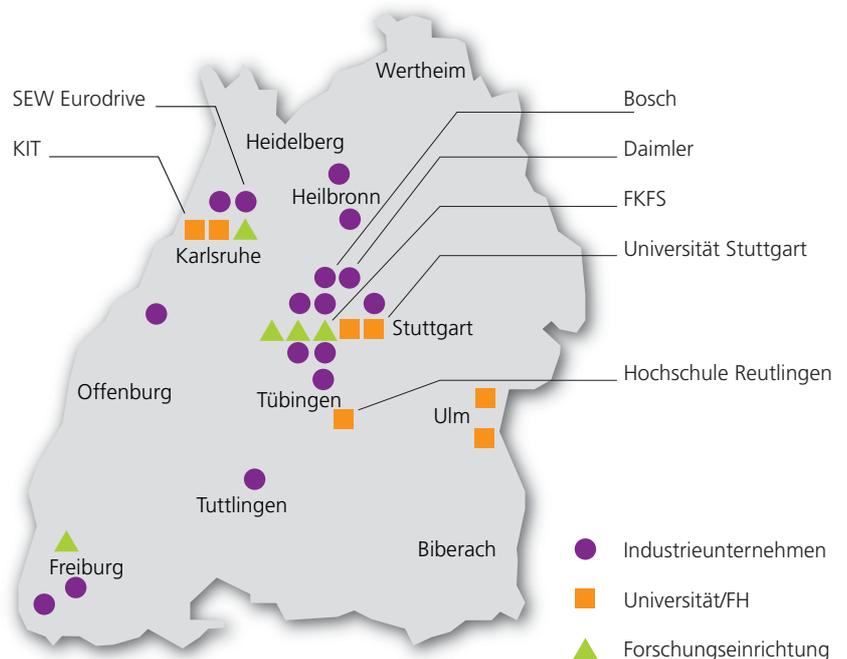


Abbildung 30: Landkarte Akteure Fahrzeugtechnik¹⁰⁶

105 <http://www.bmbf.de/de/13886.php> | 106 Eigene Darstellung



hochqualifizierte Absolventen benötigt, um dort auch Leistungselektronikaufgaben im Bereich der Elektromobilität angehen zu können.¹⁰⁷

Die SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG, eines der weltweit führenden Unternehmen im Bereich Antriebstechnik, setzt für die Beforschung von Elektromotoren für Elektrofahrzeuge ebenfalls zusätzliche Ressourcen ein und erklärt das Thema zu einem strategischen Zukunftsfeld.¹⁰⁸

Das Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS) ist darüber hinaus ein renommierter Ansprechpartner für die Automobilindustrie im Bereich der Elektronik und Kraftfahrzeugelektronik.¹⁰⁹

Mit der Gründung des „Projekthaus e-drive“ starteten die Daimler AG und das KIT eine Forschungskooperation auf dem Gebiet der Elektroantriebe. Neben den Bereichen der Leistungselektronik, Steuerungs- und Regelungstechnik sollen auch Elektromaschinen und elektrische Energiespeicher einheitlich „unter einem Dach“ beforscht werden.¹¹⁰

Auch wenn die Batterie die unumstritten zentrale Komponente der Elektromobilität darstellt, so kommt dem Elektroantrieb und der Leistungselektronik ebenfalls eine wichtige Bedeutung zu. Insbesondere für die ca. 6.600 Elektronik- und Elektrotechnikunternehmen in Baden-Württemberg¹¹¹ stellt dieser Bereich eine Möglichkeit dar, neue Geschäftsfelder und damit Wertschöpfung aufzubauen.

4.1.3 Infrastruktur

Auch im Bereich der Infrastruktur gibt es in Baden-Württemberg zahlreiche Unternehmen, die sich in innovativen Projekten mit dem Thema beschäftigen und somit eine Vorreiterrolle einnehmen (vgl. Abbildung 31).

Die EnBW als größter Energieversorger Baden-Württembergs engagiert sich in zahlreichen Projekten mit der Ausgestaltung von Infrastruktur, wie beispielsweise in den vom BMWi geförderten Projekten MeRegio und MeRegioMobil. Im Rahmen des Projektes MEREGIOmobil sollen mobile elek-

trische Speicher in Fahrzeugen möglichst effizient in das bestehende Energiesystem integriert werden. Dafür sind der Entwurf innovativer Informations- und Kommunikationstechnologien und deren Umsetzung in schlüssige Gesamtkonzepte sowie die Untersuchung unterschiedlicher Szenarios bezüglich des Mobilitätsverhaltens von Nutzern nötig. An dem Projekt sind neben der EnBW mit Daimler, Bosch und SAP auch weitere baden-württembergische Unternehmen beteiligt.¹¹²

In dem ebenfalls vom BMWi geförderten Projekt MeRegio (Minimum Emission Region) sollen dezentrale Energie-

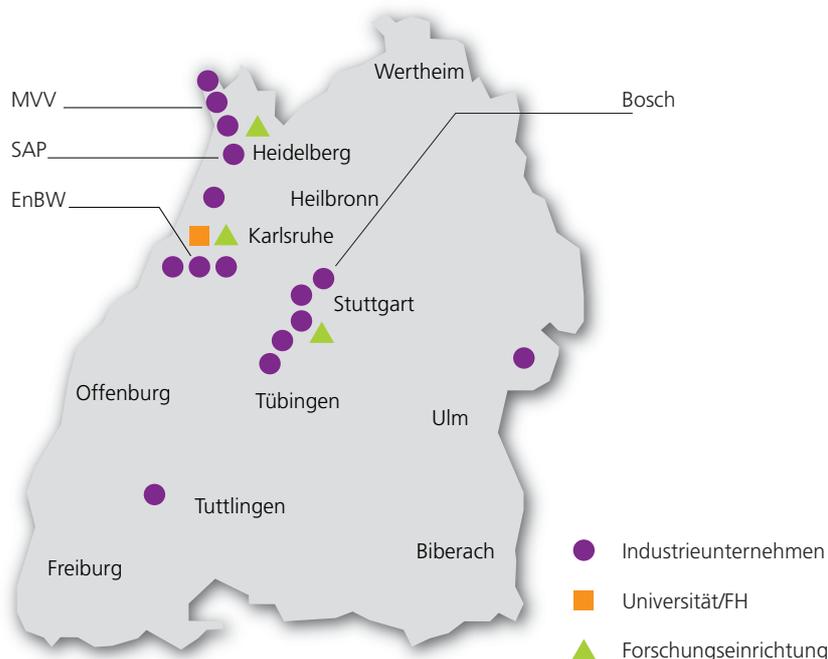


Abbildung 31: Landkarte Akteure Infrastruktur¹¹³

107 <http://www.automobil-industrie.vogel.de/elektronik/articles/236988> | 108 <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanaele/konstruktion/antriebsundsteuerungstechnik/articles/183526/> | 109 Darüber hinaus soll das FKFS durch Investitionen seitens der Landesregierung beim Wandel zu einem Forschungs- und Entwicklungszentrum für Hybrid- und Elektrofahrzeuge unterstützt werden. Vgl. Pressestelle der Landesregierung BW (2009): Pressemitteilung Nr. 359/2009 am 24. November 2009 | 110 Daimler beteiligt sich mit insgesamt 9,5 Mio. €, das KIT mit 5 Mio. € und das Land BW mit 2,5 Mio. € am Projekthaus e-drive; Vgl. dazu Pressestelle der Landesregierung BW (2009): Pressemitteilung Nr. 359/2009 am 24. November 2009 | 111 http://www.bw-invest.de/deu/index_deu_6338.aspx | 112 <http://meregio mobil.forschung.kit.edu/82.php> | 113 Eigene Darstellung

4

Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität

erzeuger, Stromverbraucher und intelligente Speicher miteinander vernetzt werden und so zur CO₂-Minimierung und zum Klimaschutz beitragen.¹¹⁴ Auch die MVV Energie AG als regionaler Anbieter mit bundesweitem Stadtwerke-Netzwerk engagiert sich in Infrastrukturprojekten, wie beispielsweise in dem Projekt „Modellstadt Mannheim“, welches vom BMU und BMWi gefördert wird.¹¹⁵ Die MVV arbeitet zudem mit der SAP AG im Rahmen des Projektes „Green Fleet“¹¹⁶ zusammen. Das Softwareunternehmen und der Energieanbieter wollen dabei ihre Fahrzeugflotte um insgesamt rund 100 Elektrofahrzeuge erweitern, die zunächst mit Ökostrom der MVV, später dann mit Photovoltaik-Anlagen vor Ort versorgt werden sollen. SAP hat darüber hinaus ein Flottenmanagementsystem für den Einsatz der Fahrzeuge entwickelt.¹¹⁷

Die Stadt Stuttgart hat im Rahmen des Wettbewerbes des Bundesverkehrsministeriums „Innovative öffentliche Fahrradverleihsysteme“ für das Projekt „Call-a-Bike-Pedelec“ eine Förderung erhalten. Das bestehende Call-a-Bike-System soll dabei in einer Entwicklungspartnerschaft zwischen DB Rent GmbH und der Stadt Stuttgart um ein Pedelec-Verleihsystem mit integrierten Ladestationen ergänzt werden.¹¹⁸

4.1.4 Leichtbau

Der Fahrzeugleichtbau ist eine wichtige Schlüsseltechnologie für energiesparende und emissionsarme Fahrzeuge. In Baden-Württemberg gibt es viele anerkannte Forschungsinstitute, die sich mit diesem Thema beschäftigen und gegenüber anderen Forschungseinrichtungen in Deutschland einen enormen Innovationsvorsprung von bis zu 5 Jahren aufweisen können.¹¹⁹ Das Kompetenzzentrum Fahrzeugleichtbau, bestehend aus den Stuttgarter DLR-Instituten für Fahrzeugkonzepte und für Bauweisen- und Konstruktions-

forschung sowie dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie in Pfinztal, befasst sich vor allem mit dem Gebiet der Faserverbundwerkstoffe. Das Kompetenzzentrum ist der zentrale Kooperationspartner des Innovationsclusters KITE hyLITE, welches vom Land Baden-Württemberg gefördert wird¹²⁰ und sich mit den drei Kernthemen Methoden, Werkstoffe und Produktion beschäftigt. Das Kernteam des Clusters setzt sich dabei aus drei Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft (ICT, IWM und LBF) sowie vier Instituten der Universität Karlsruhe zusammen.¹²² Neben den drei in Baden-Württemberg ansässigen

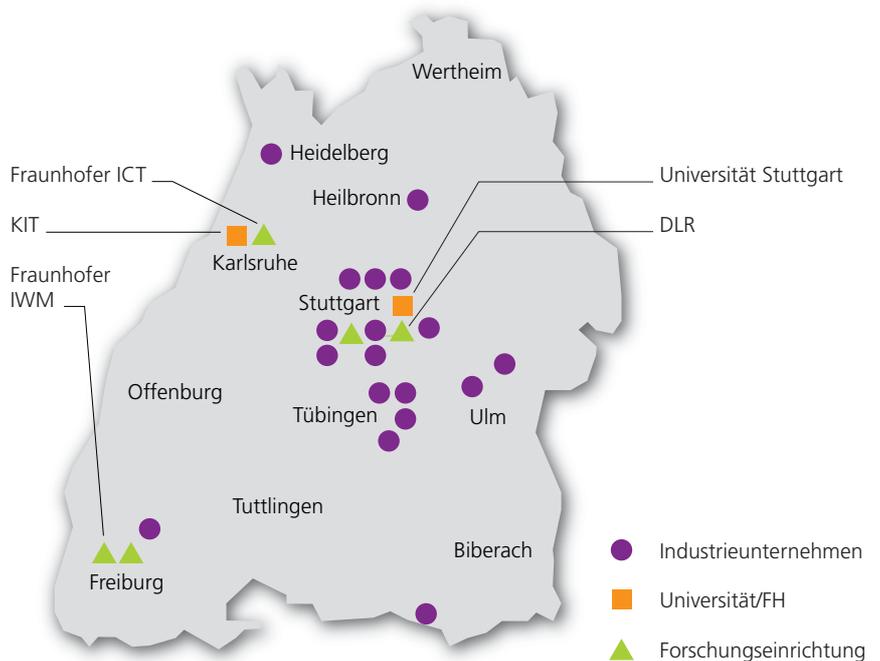


Abbildung 32: Landkarte Akteure Leichtbau¹²¹

114 <http://www.e-energy.de/de/meregio.php> | 115 <http://www.modellstadt-mannheim.de/> | 116 Dieses ist im Rahmen des Projektes RegModHarz an-gesiedelt, vgl. dazu <https://www.regmodharz.de/> | 117 <http://emobileticker.de/?p=1303> | 118 <http://www.stuttgart.de/item/show/210224/1/9/367170> | 119 http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/61179/Anlage_Elektromobilitaet.pdf?command=downloadContent&filename=Anlage_Elektromobilitaet.pdf | 120 Pressemitteilung der Landesregierung BW (2009): Pressemitteilung Nr. 359/2009 am 24. November 2009 | 121 Eigene Darstellung



OEMs beschäftigen sich auch die Zulieferindustrie sowie zahlreiche innovative klein- und mittelständische Unternehmen des Maschinenbaus mit dem Thema Leichtbau. Eine Übersicht über identifizierte Akteure befindet sich in Abbildung 32.

Gerade im Bereich elektromobiler Antriebskonzepte spielt Leichtbau eine wichtige Rolle, um die benötigten schweren Zusatzkomponenten (vor allem die Batterie) kompensieren zu können. Mit innovativen Leichtbaukonzepten kann somit der Energiebedarf der Fahrzeuge verringert und höhere Reichweiten mit Elektrofahrzeugen erreicht werden.

Um den Fahrzeugleichtbau auf wissenschaftlicher und industriorientierter Basis weiter auszubauen, soll im Rahmen der Landesinitiative Elektromobilität nun das Technologie-Cluster Composites (TC²) gefördert werden, um Leichtbaustrukturen zu entwickeln, die auch großserienfertig sein können.¹²³

4.1.5 Brennstoffzelle

Im Bereich der Brennstoffzelle ist Baden-Württemberg in Bezug auf seine Industrie- und Forschungslandschaft sehr gut aufgestellt und muss auch den internationalen Vergleich nicht scheuen. Besonders hervorzuheben ist die Region Stuttgart, welche über eine bundesweit, wenn nicht sogar weltweit einzigartige Konzentration von Aktivitäten im Bereich der Brennstoffzelle verfügt (vgl. hierzu Abbildung 33). Somit gehört die Region Stuttgart zu den weltweit bedeutendsten Forschungs- und Entwicklungszentren sowie Tech-

nologie- und Wirtschaftszentren auf dem Gebiet der Brennstoffzelle. Zentrale Anlaufstelle im Land ist die Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg (BzA-BW) welche als Informations- und Kommunikationsplattform die zahlreichen Akteure des Themenfeldes vernetzt. So ist in Zusammenarbeit zwischen der WRS und der Brennstoffzellen-Allianz auch im März 2009 eine Studie veröffentlicht worden, welche im Detail relevante Projekte und Initiativen sowie die Akteure im Themenfeld Brennstoffzelle über die gesamte Wertschöpfungskette aufführt. Auf diese Studie sei hier verwiesen.¹²⁴

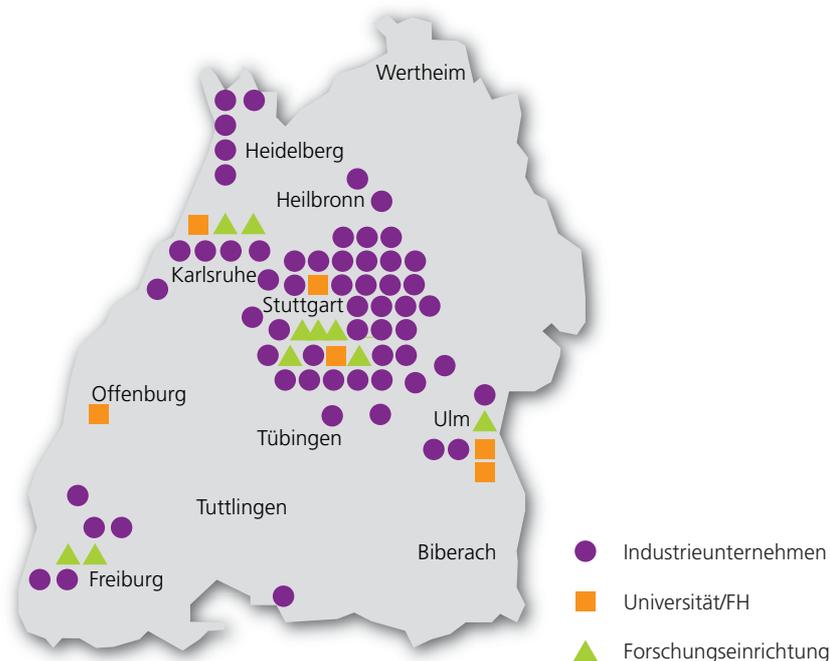


Abbildung 33: Landkarte Akteure Brennstoffzelle¹²⁵

122 <http://www.fahrzeugleichtbau.de/verbundpartner.html> | 123 Pressestelle der Landesregierung BW (2009): Pressemitteilung Nr. 359/2009 am 24. November 2009 | 124 http://www.bza-bw.de/files/wertschoepfungskette_brennstoffzellen_09-03-13.pdf - aufgerufen am 26.11.2009 | 125 Eigene Darstellung

4.2 Themenübergreifende Initiativen

Mit den im Land vertretenen OEMs, einer Vielzahl innovativer kleiner, mittelständischer und großer Zulieferer und entsprechend spezialisierten Hochschulen und Forschungseinrichtungen ist Baden-Württemberg einer der führenden Automobilstandorte weltweit. Durch die zahlreichen Initiativen, Demonstrations- und Entwicklungsprojekte sowie die gute Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft verfügt das Land Baden-Württemberg über sehr gute Voraussetzungen, um auch im Bereich der Elektromobilität eine führende Rolle als Technologie- und Produktionsstandort einzunehmen.

Die wichtigen themenspezifischen Initiativen und Projekte im Bereich der Elektromobilität wurden bereits in den vorangegangenen Kapiteln explizit skizziert. Eine Übersicht über die Verteilung¹²⁶ der im Rahmen dieser Studie identifizierten Projektaktivitäten in Baden-Württemberg zu den Bereichen Batterietechnik, Infrastruktur und Netze, Fahrzeugtechnik sowie Leichtbau und Brennstoffzelle ist in Abbildung 34 gegeben.¹²⁷ Zu berücksichtigen ist hierbei, dass es sich um die relative Verteilung der Anzahl der Projekte und nicht um die relative Verteilung der Projektvolumina handelt.

Die meisten Projekte und Aktivitäten in Baden-Württemberg sind im Bereich der Batterietechnik zu verzeichnen. Da

Fortschritte im Bereich der Batterietechnologie einen sehr wichtigen Stellhebel zur Verbreitung von batterieelektrischen Fahrzeugen darstellen, ist es folgerichtig, Forschungsaktivitäten in diesem Bereich gezielt voranzutreiben. Relativ gleichmäßig verteilt sind die restlichen Aktivitäten über die Gebiete der Infrastruktur und Netze, der Fahrzeugtechnik sowie Aktivitäten bezüglich des Leichtbaus und der Brennstoffzelle.

Neben den themenspezifischen Projekten seien auch die themenübergreifenden Initiativen genannt. Hervorzuheben ist die vom BMVBS als „Modellregion Elektromobilität“ geförderte Region Stuttgart. Die Region Stuttgart hat sich zusammen mit 7 weiteren Regionen gegen rund 140 Bewerbungen durchgesetzt und wird nun vom BMVBS im Rahmen des Konjunkturpaketes II hinsichtlich Projekten zur Demonstration von Elektromobilität im öffentlichen Raum bis Juni 2011 gefördert. Ziel ist es, in einem ganzheitlichen Ansatz, Schlüsselfragen zur Markt- und Technologievorbereitung der Elektromobilität zu beantworten und somit die Region Stuttgart als einen Leitmarkt für Elektromobilität zu etablieren.¹²⁸

Aus der Verteilung der Akteure im Themenfeld Elektromobilität in Kapitel 4.1 ist die besondere Bedeutung der Region Stuttgart deutlich geworden. Die Modellregion Stuttgart kann damit eine Art Nukleus für eine systemische Betrachtung der Elektromobilität und

damit den Einbezug aller relevanten Akteure aus Industrie, Forschung und Bildung, aber auch Bau und Infrastruktur sowie Kommunen und Städte werden. Unbedingt gilt es daher im Rahmen der Förderlaufzeit eine Struktur zu etablieren, welche auch über das Ende der Förderung hinaus trägt.

Auch die Spitzenclusterinitiative „Industrialisierung der Elektromobilität“ ist zu nennen. Diese Initiative hatte das Ziel, durch technologische Durchbrüche bei der Industrialisierung sowohl der Fahrzeuge, der Infrastruktur als auch der notwendigen Informations- und Kommunikationstechnologien zukünftig Wertschöpfung in Deutschland erhalten zu können. Obwohl dem Antrag in der aktuellen Runde keine Förderung zugesprochen wurde, ist die Initiative aufgefordert, sich an der nächsten Ausschreibungsrunde erneut zu beteiligen.¹²⁹

Mit dem Innovationsnetzwerk Future Car wurde von den Fraunhofer Instituten IAO und IISB sowie dem Schweizer Elektromobilitäts-Pionier Protoscar eine Initiative gestartet, welche sich explizit an die Automobilzulieferindustrie richtet. Ziel ist es herauszuarbeiten, wie sich die Zulieferunternehmen im Zuge des Wandels zur Elektromobilität auf anstehende Veränderungen vorbereiten und insbesondere Innovationschancen für sich nutzbar machen können. In dem Netzwerk arbeiten zur Zeit rund 15 Unternehmen.¹³⁰

126 Zu berücksichtigen ist hierbei, dass es sich um die relative Verteilung der Anzahl der Projekte und nicht um die relative Verteilung der Projektvolumina handelt. | 127 Dabei wurden die unterschiedlichen, aktuellen Förderprojekte auf EU-, Bundes- und Landesebene berücksichtigt. Diese Projekte sind teilweise mehr als einem Bereich zuzuordnen, da sie übergreifende Themen behandeln | 128 http://www.bmvbs.de/Anlage/original_1092861/Modellregion-Stuttgart.pdf | 129 http://www.um.badenwuerttemberg.de/servlet/is/61179/Anlage_Elektromobilitaet.pdf?command=downloadContent&filename=Anlage_Elektromobilitaet.pdf | 130 <http://www.inkoop.iao.fraunhofer.de/innovationsnetzwerke/innovationsnetzwerk-fucar/>



Im Rahmen der Landesinitiative Elektromobilität soll außerdem eine landesweite Koordinierungsstelle zum Wissenstransfer sowie zum Initiieren, Koordinieren und Durchführen von Verbundforschungsprojekten aufgebaut werden. Ziel dieser Landesagentur Elektromobilität ist es daneben auch, Öffentlichkeitsarbeit, Imagepflege und Standortmarketing zu betreiben.

Mit der Clusterinitiative „automotive bw“ soll außerdem ein landesweites, neutrales Cluster aufgebaut werden, welches zusammen mit regionalen Initiativen die Kompetenzen im Automobilland Baden-Württemberg bündeln soll. Durch eine verstärkte Zusammenarbeit von Industrie- und Forschungseinrichtungen sollen landesweit vorhandene Innovationspotenziale noch besser genutzt werden können. Als Schwerpunktthemen wurden dabei im Cluster die Themenfelder Elektromobilität, Hybridleichtbau und faserverstärkte Kunststoffe definiert.¹³¹

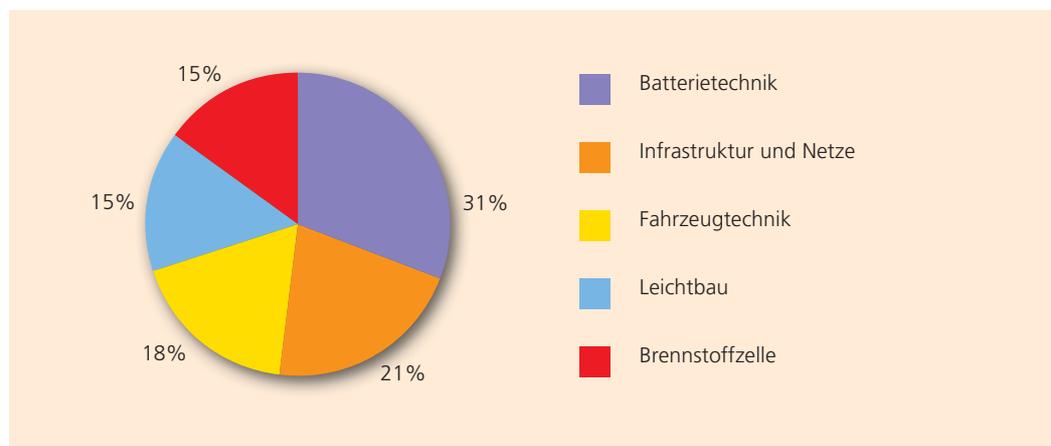


Abbildung 34: Verteilung der identifizierten Projektaktivitäten¹³²

131 http://www.um.badenwuerttemberg.de/servlet/is/61179/Anlage_Elektromobilitaet.pdf?command=downloadContent&filename=Anlage_Elektromobilitaet.pdf | 132 Eigene Darstellung

Prognosen und Meinungen – Expertengespräche

Das Landesprogramm braucht eine USP. Es sollten gezielt Leuchtturmprojekte gefördert werden, die nur in einem wirtschaftlichen Umfeld wie im Baden-Württemberger Fahrzeug-Cluster möglich sind.¹

Mit der Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie wird ein erster Schritt zur besseren Sichtbarkeit des Themas Elektromobilität in Baden-Württemberg geleistet.¹

Die industriellen Kernzentren und Forschungszentren liegen traditionell eher im Süden und Westen Deutschlands.²

Baden-Württemberg besitzt im Bereich der Brennstoffzelle hervorragende Kompetenzen. Auch im Bereich der Elektronik/Elektrotechnik ist das Land sehr gut aufgestellt.³

Neben Karlsruhe ist Stuttgart innerhalb von Baden-Württemberg sehr gut aufgestellt und für das Thema prädestiniert.³

In den nächsten 5 Jahren wird noch kein Geld mit der Elektromobilität verdient. Baden-Württemberg hat aber gute Chancen. Jetzt ist Innovationskraft gefragt.⁴

Es gibt einen sehr innovativen und initiativen Mittelstand in Baden-Württemberg. Da in der Vergangenheit kaum verwertbare Aussagen für ihn von den OEMs oder der Politik gekommen sind, wird dieser selbst aktiv.⁵

Baden-Württemberg ist gut aufgestellt und wesentliche Themen sind abgedeckt, insbesondere aufgrund der starken F&E Landschaft.⁶

In Baden-Württemberg ist dazu im letzten halben Jahr sehr viel geschehen. Das Land selber hat weitere Schritte getan, um sich in diesem Bereich geeignet aufzustellen.⁷

Referenzen: 1 Experteninterview Dr. R. Reiner (WRS) vom 19.11.2009 | 2 Experteninterview Dr. S. Wöhl (VDA) vom 23.11.2009 | 3 Experteninterview A. Rupalla (RA Consulting) vom 25.11.2009 | 4 Experteninterview Dr. W. Begemann (VDMA) vom 09.11.2009 | 5 Experteninterview Prof. Dr. H.-C. Reuss (Uni Stuttgart) vom 09.11.2009 | 6 Experteninterview Dr. T. Behr (Daimler) vom 16.11.2009 | 7 Interview mit Experte aus der Forschung vom 11.11.2009

Prognosen und Meinungen – Quantitative Befragung

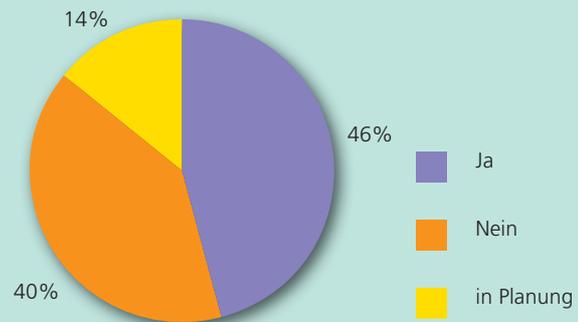
Kompetenz besteht bei 55% der Unternehmen zwischen 1 und 5 Jahren. 19% der Unternehmen gaben an mehr als 10 oder weniger als 1 Jahr diese Kompetenzen zu besitzen. 7% der Aussagen definierten das Zeitintervall 5-10 Jahre.

Benötigte Produktionssysteme hierfür besitzen nur 21% der Unternehmen. 63% gaben „Nein“ und 16% „In Planung“ an.

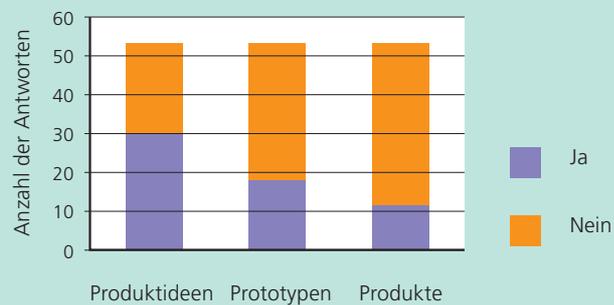
Fortschritt der Aktivitäten bezüglich Marktreife ist bisher noch nicht stark ausgeprägt. Während 30 der befragten Unternehmen (56%) Produktideen angeben, sinkt die Zahl auf 11 Unternehmen für die Arbeit an Produkten (20%).

Der Anteil an F&E Aufwendungen für Elektromobilität beträgt bei 67% der Unternehmen, die im Moment bereits im Bereich Elektromobilität aktiv sind, weniger als 10% und bei 30% dieser Unternehmen zwischen 10% und 30% ein.

Kompetenzen bezüglich Elektromobilität im Unternehmen



Aktivitäten im Unternehmen



5

Zusammenfassende Gesamtbetrachtung



In der Studie „BW^e Mobil“ wurden Sekundärdatenrecherchen (Technologiestudien, Marktszenarios, Projektberichte, Pressemitteilungen etc.), Interviews mit Fachexperten aus Industrie und Wissenschaft sowie eine quantitative Befragung baden-württembergischer Unternehmen der Automobilindustrie zusammengeführt, um die zu erwartenden Auswirkungen und die Positionierung Baden-Württembergs hinsichtlich der Elektromobilität herauszuarbeiten. In der Gesamtschau der Studie wird deutlich:

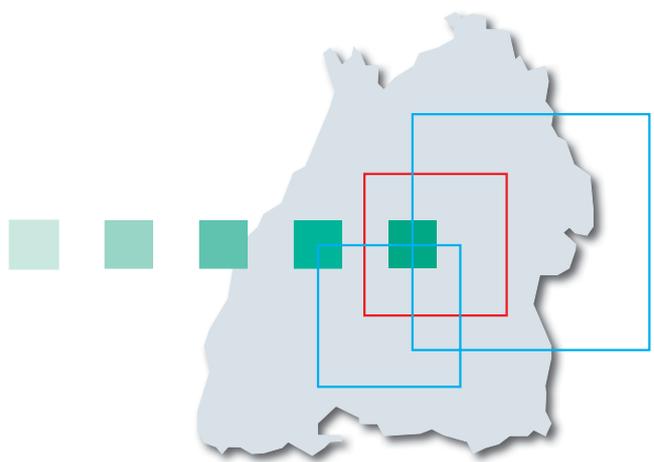
- Wir sind bereits auf dem Weg in eine elektromobile Zukunft, die zunehmend elektrischer werden wird, bis hin zu einer überwiegend rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugflotte.
- Diese elektromobile Zukunft geht mit tiefgreifenden Veränderungen in der Wertschöpfungsarchitektur des Fahrzeuges sowie hinsichtlich der Qualifizierungsanforderungen einher.
- Baden-Württemberg verfügt über eine hervorragende Ausgangsposition, um auch in einer elektromobilen Gesellschaft eine führende Rolle als Leitanbieter für die Elektromobilität einzunehmen.

Bei der Euphorie mit welcher das Thema Elektromobilität in der Öffentlichkeit diskutiert wird, darf nicht aus den Augen verloren werden, dass auf absehbare Zeit der Verbrennungsmotor der dominierende Antrieb bleiben wird. Die zu erwartenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte für Technologien zur Effizienzsteigerung des Verbrennungsmotors müssen zu einem großen Teil in Baden-Württemberg realisiert werden, um die Beschäftigungs- und Umsatzzahlen der Automobilindustrie im Land über die nächsten Jahre zu halten oder sogar zu steigern.

Die starke Position Baden-Württembergs hinsichtlich des Verbrennungsmotors wird jedoch auch zur Herausforderung beim Wandel zur Elektromobilität. Alles auf die Karte „Elektromobilität“ zu setzen wäre fatal, vielmehr gilt es eine Balance zwischen Investitionen in die Verbesserung der etablierten sowie die Entwicklung der neuen Technologie zu finden. Aufgrund des disruptiven Charakters des Technologiewandels zur Elektromobilität sind die Unternehmen, Forschungs- und Bildungseinrichtungen, Städte und Kommunen sowie die Landespolitik herausgefordert, gemeinsam ein „Management des Wandels“ zu etablieren.

Es muss der Anspruch sein, in Baden-Württemberg die gesamte elektromobile Wertschöpfungskette zu etablieren, von der Forschung und Entwicklung und der Produktion bis hin zum Vertrieb, dem Betrieb sowie der Reparatur und dem Recycling. Während die baden-württembergischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen bezüglich der Forschung und Entwicklung bereits zur Weltspitze gehören, gilt es nun, diese Position zu nutzen, um auch bezüglich der Produktion elektromobiler Komponenten und Gesamtfahrzeuge nachzuziehen.

Auf dem Weg in die Elektromobilität müssen neben den großen Unternehmen insbesondere auch die kleinen und mittelständischen Betriebe mitgenommen werden. Nur wenn Baden-Württemberg über das gesamte Spektrum der elektromobilen Komponenten eine auf dem Gebiet des Verbrennungsmotors äquivalente Technologie- und Produktionsführerschaft erreicht und eine „Systemkompetenz Elektromobilität“ im Land etabliert, lassen sich die zu erwartenden Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte realisieren.



Literaturverzeichnis

- Aguiar, P. et al. (2006):
"Feasibility study and techno-economic analysis of an SOFC/Battery hybrid system for vehicle applications".
- Anderson, D. et al (2009):
"An evaluation of current and future cost for lithium-Ion Batteries for use in electrified vehicle powertrains".
- ANL Cuenca, R. et al. (1999):
"Evaluation of Electric vehicle Production and Operating Costs".
- ANL Delorme, A. et al. (2009):
"Cost Benefit Analysis of Advanced Powertrains from 2010 to 2045".
- ANL Vyas, A. et al. (2000):
"Comparison of indirect cost multipliers for vehicle manufacturing".
- A.T. Kearney Studie (2008):
„Der Antrieb der Zukunft“.
- A.T. Kearney (2009):
„Great Leap Forward or Deja Vu? The alternative energy car landscape for China in 2020“.
- A.T. Kearney (2009):
"Auto 2020 – Passenger Cars – Expert Perspective".
- Autobild (2009):
„E-Autos ja. Aber bitte ohne Aufpreis“. In: Autobild Nr. 42 (2009), S.12.
- BCG-Studie (2009):
"The Comeback of the Electric Car?".
- BDW (2009): „For New Fuel“.
- Bilba, D. (2009):
„Geballte Ladung“ in Technology Review: Sonderheft Auto der Zukunft 1/2009.
- Blazejak, A. et al. (2009):
„iMiEV Das Elektrofahrzeug von Mitsubishi“ Präsentation während PR Tour.
- BMU (2009):
„Konzept eines Programms zur Markteinführung von Elektrofahrzeugen“.
- Brotz, F. et al. (2007):
„Kühlung von Hochleistungsbatterien für Hybridfahrzeuge“ in: ATZ 12/2007 S. 1156-1162.
- Bundesregierung (2009):
„Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität“.
- Burgelman, R. et al. (2009):
"The drive toward the electric mile".
- Christidis, P. et al. (2005):
"Hybrids for road transport" JRC.
- Delucchi, M. et al (2000):
"Electric and Gasoline Vehicle Lifecycle Cost and Energy-Use Model".
- Deutsche Bank Studie (2008):
"Auto Manufacturing: Electric Cars: Plugged In".
- Dixon, L. et al (2002):
"Driving Emission to Zero".
- EPRI Graham, R. et al. (2001):
"Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options".
- EUCAR, CONCAWE, EU-JRC (2006):
"Well-to-Wheel Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context".
- Eaves, S. et al. (2003):
"A cost comparison of fuel-cell and battery electric vehicle".
- Fehrenbacher, C. et al (2009):
„Kühlung von Li-Ion Batteriemodulen“ Vortrag auf 2. Fachtagung des VDMA und der Universität Karlsruhe am 18. Feb. 2009.
- Freialdenhoven, A. (2009):
„Wie reagiert die Automobil- und Zulieferindustrie auf die Herausforderung Elektromobilität?“ In: Erdmann, G. (2009): „Herausforderung Elektromobilität“.
- Frost & Sullivan (2009):
„360 Degree Analysis of the global electric vehicles market“.
- Frost & Sullivan (2008):
"Electrochemical capacitors" 25. Sep. 2008.
- Frost & Sullivan (2009):
"World ultracapacitor market" 31. Juli 2009.
- Gies, S. (2008):
„Unkonventionelle Fahrzeugantriebe“ Schriftenreihe Automobiltechnik, Vorlesungsumdruck, RWTH Aachen.
- Global Insight Vehicle Forecast (2009):
„Automobilindustrie bis 2020“.
- Greene, D. et al. (2007):
"Integrated Analysis of Market Transformation Scenarios with HyTrans".
- Gutsch, A. (2009):
„Energiespeicher Effizienz Sicherheit“, Li-Tec 2009 unpublished.
- Hzwei-Magazin, Oktober 2009.
- IMU Institut (2009):
„Strukturbericht Region Stuttgart 2009“.
- International Energy Agency (2009):
„EV/PHEV Roadmap“.
- Kloess, M.; et al. (2009):
„Technical, Ecological and Economical assessment of electrified Powertrain Systems for Passenger Cars“.
- Lipman, T. et al. (2006):
"A retail and lifecycle cost analysis of hybrid electric vehicles, Transportation Research Part D 6".

- Mathoy, A. (2008):
„Die Entwicklung bei Batterien und Antriebstechnik für Elektroautomobile“
Brusa Bulletin SEV/VSE 1/2008.
- McDowall, J. et al. (2008):
„Zielkonflikte bei der Sicherheit von industriellen Lithium-Ionen Batteriesystemen.“
- McKinsey Studie (2009):
„Der Trend zu energieeffizienten PKW“.
- McKinsey, Pinner, D. (2008):
“Economics/Emerging Business Opportunities in Energy Storage”.
- MIT Bandivadekar, A. et al. (2008):
„On the Road in 2035“.
- MIT Kromer, M. et al. (2007):
„Electric Powertrains: Opportunities and Challenges“.
- MIT Weiss, M. et al. (2000):
“On the Road in 2020“.
- Naunheimer, H. (2009):
„Das Elektrofahrzeug – Chance für Zulieferer“ Vortrag E-Motive 2009.
- NREL Simpson, A. (2006):
“Cost-Benefit Analysis of Plug-In Hybrid Electric Vehicle Technology”.
- Oertel, D. (2008):
“Energiespeicher- Stand und Perspektiven“
unter <http://www.tab.fzk.de/de/projekt/zusammenfassung/ab123.pdf>.
- Offer, G. et al. (2009):
“Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system“.
- Pressestelle der Landesregierung BW (2009):
„Landesregierung startet Landesinitiative Elektromobilität.“ Pressemitteilung Nr. 359/2009, 24. November 2009.
- PWC (2009):
„Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf die Stromwirtschaft“.
- Roland Berger, Rothschild (2008):
“Global Automotive Supplier Study 2008“.
- Roland Berger Studie (2009):
“Powertrain 2020 – The Future Drives Electric“.
- Sauer, U. (2009):
„Elektrische Energiespeicher in Hybrid- und Elektrofahrzeugen“ Vortrag erhältlich über http://lexikon.kfz.tu-berlin.de/kfz-seminar/downloads/vortrag_tu_berlin_29012009.pdf.
- Schäfer, A. et al. (2006):
“Future fuel cell and internal combustion engine automobile technologies“.
- Shell (2009):
“Shell PKW-Szenarien bis 2030“.
- Tübke, Fraunhofer ICT Pfinztal. In: Technologie Review 05/2008 S.44.
- VDA (2008):
„VDA Position zur Elektromobilität“.
- Williams, B. et al. (2006):
“Commercializing light-duty plug-in/Plug-out hydrogen-fuel-cell vehicles“.

Internetquellen

<http://www.acpropulsion.com>

http://www.bza-bw.de/files/wertschoepfungskette_brennstoffzellen_09-03-13.pdf - <http://www.elektronik.net>

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/dossier_de_presse_vehicules_ecologiques_cle097ee4.pdf

<http://www.greencarcongress.com/2009/10/france-20091002.html>

<http://www.moveabout.net/en/>

<http://www.openpr.de/news/372702/Drive-CarSharing-Der-ersten-Baustein-in-die-Elektromobilitaet-fuer-Jedermann.html>

<http://www.berlinonline.de/berliner-zeitung/archiv/.bin/dump.fcgi/2009/0831/berlin/0015/index.html>

<http://www.drive-ecity.de/index.html>

<http://www.bmvbs.de/Service/A-bis-Z/Konjunkturpaket-,3132.1092406/Modellregionen-Elektromobilita.htm>

http://www.energieagentur.nrw.de/_infopool/page.asp?InfoID=8156

<http://www.stmwivt.bayern.de/technologie/technologiefoerderung/>

http://www.baika.de/portal/baika_news_detail,15260,754,151895,detail.html

http://www.bw-invest.de/deu/index_deu_6398.aspx

http://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/ensite/Pruefungsordnung.pdf

<http://www.zsw-bw.de/info/press/KIT/090828PresseinformationHelholtzLabzsw.pdf>

<http://www.atzonline.de/index.php;do=show/alloc=1/Ing=de/id=10808/site=a4e>

http://www.kfz-bw.de/verband/zahlenfakten/index_20051018145729.html

<http://www.bmu.de/verkehr/downloads/doc/44962.phpa>

http://www.umweltdialog.de/umweltdialog/mobilitaet/2009-06-18_Wasserstoff_Tankstelle_mit_neuer_Betankungstechnik.php

<http://www.bmvbs.de/artikel-,302.1092406/Modellregionen-Elektromobilita.htm>

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

http://www.bza-bw.de/files/wertschoepfungskette_brennstoffzellen_09-03-13.pdf

<http://www.zsw-bw.de/topics/batteries.html>

<http://www.bmbf.de/de/11828.php>

<http://www.materialsgate.de/mnews/4571/Batterien+f%C3%BCr+die+Elektroautos+von+morgen.html>

<http://www.sblimotive.com/de/home.html>

<http://www.automobil-produktion.de/2009/09/jede-baureihe-mit-hybrid-variante/>

<http://www.leclanche.ch/html/de/content/presentation/struct-lithium.php>

http://www.varta-microbattery.com/en/mb_data/documents/press_releases/PR20090925_VARTA_VW_de.pdf

http://www.bw-invest.de/deu/index_deu_6047.aspx?c=090804-bw-invest-de-elektromobilitaet

<http://www.iwr.de/news.php?id=14085>

<http://www.bmbf.de/de/13886.php>

<http://www.automobil-industrie.vogel.de/elektronik/articles/236988>

<http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanaele/konstruktion/antriebs-undsteuerungs-technik/articles/183526/>

http://www.bw-invest.de/deu/index_deu_6338.aspx

<http://mergiomobil.forschung.kit.edu/82.php>

<http://www.e-energy.de/de/mergio.php>

<http://www.modellstadt-mannheim.de/>

<https://www.regmodharz.de/>

<http://emobileticker.de/?p=1303>

<http://www.stuttgart.de/item/show/210224/1/9/367170>

http://www.um.baden-buerttemberg.de/servlet/is/61179/Anlage_Elektromobilitaet.pdf?command=downloadContent&filename= Anlage_Elektromobilitaet.pdf

<http://www.fahrzeugleichtbau.de/verbundpartner.html>

http://www.bza-bw.de/files/wertschoepfungskette_brennstoffzellen_09-03-13.pdf

http://www.bmvbs.de/Anlage/original_1092861/Modellregion-Stuttgart.pdf

<http://www.inkoop.iao.fraunhofer.de/innovationsnetzwerke/innovationsnetzwerk-fucar/>

<http://63.84.90.50/res/shared/pdf/Auto2020.pdf>

<http://www.energie.ch/themen/industrie/antriebe/>

<http://www.hybrid-autos.info>

<http://www.electricmotornews.eu/cars/index.html>

http://www.nesscap.com/products_lineup.htm

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Die Vielfalt elektromobiler Antriebskonzepte	6
Abbildung 2:	Die Vielfalt elektromobiler Fahrzeugkonzepte	7
Abbildung 3:	Roadmap Elektromobilität	8
Abbildung 4:	Ragone Plott	9
Abbildung 5:	Die gravimetrische Energiedichte unterschiedlicher Energieträger im Vergleich	9
Abbildung 6:	Verschiedene Energiespeicher im Vergleich	10
Abbildung 7:	Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterietypen	12
Abbildung 8:	Erwartete Kostendegression von Batteriezellen	13
Abbildung 9:	Die Wertschöpfungsstufen der Batterieherstellung	14
Abbildung 10:	Die Wohlfühltemperatur von Batteriezellen	15
Abbildung 11:	Vergleich der verschiedenen Arten von elektrischen Maschinen	17
Abbildung 12:	Mögliche Topologie Leistungselektronik mit HV-Batterie und NV-Bordnetz	18
Abbildung 13:	Die Komplexität des Getriebes variiert mit dem Antriebskonzept	19
Abbildung 14:	Conversions-Design (BMW-Mini) vs. Purpose-Design (Chevrolet Volt)	21
Abbildung 15:	Potenziale und Entwicklungslinien der Komponenten	22
Abbildung 16:	Ergebnisse der Metastudie Marktentwicklung Elektromobilität	26
Abbildung 17:	5-Jahres-TCO für 5 verschiedene Fahrzeuge (gekauft in 2020 und gefahren in Deutschland)	27
Abbildung 18:	Reichweitenanforderungen der Nutzer	28
Abbildung 19:	Verbleibende Kostenlücke batterieelektrischer Fahrzeuge	28
Abbildung 20:	Vor- und Nachteile unterschiedlicher Antriebskonzepte	29
Abbildung 21:	Der Wettbewerb der Regionen wird durch massive Subventionsprogramme befördert	35
Abbildung 22:	Modellregionen für Elektromobilität in Deutschland	37
Abbildung 23:	Landkarte von Automobilzulieferunternehmen in BW	40
Abbildung 24:	Vergleich Herstellkosten Heute–2020 an zwei batterieelektrischen Fahrzeugen	43
Abbildung 25:	Änderung Globales Marktvolumen: Heute–2020	44

Abbildung 26:	Änderung Marktvolumen für Baden-Württemberg: Heute–2020	45
Abbildung 27:	Ladestationen für Elektrofahrzeuge im Vergleich	53
Abbildung 28:	Anzahl der Akteure in Baden-Württemberg in den Kernthemen der Elektromobilität	56
Abbildung 29:	Landkarte Akteure Batterietechnik	57
Abbildung 30:	Landkarte Akteure Fahrzeugtechnik	58
Abbildung 31:	Landkarte Akteure Infrastruktur	59
Abbildung 32:	Landkarte Akteure Leichtbau	60
Abbildung 33:	Landkarte Akteure Brennstoffzelle	61
Abbildung 34:	Verteilung der identifizierten Projektaktivitäten	63

Abkürzungsverzeichnis

A	Ampere
ABS	Antiblockiersystem
ASR	Antriebsschlupfregelung
BCG	Boston Consulting Group
BEV	Batterieelektrisches Fahrzeug
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BzA-BW	Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg
CAI	Controlled Auto-Ignition
DB	Deutsche Bahn
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CVT	Continuously Variable Transmission
DoD	Depth of Discharge
E-Fahrzeug	Elektrofahrzeug
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EU	Europäische Union
Fa	Firma
FC	Brennstoffzellenfahrzeug / Brennstoffzelle
FKFS	Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart
Fraunhofer IAO	Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
Fraunhofer ICT	Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie
Fraunhofer IISB	Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie
Fraunhofer ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
Fraunhofer IWM	Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik
Fraunhofer LBF	Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit
FTE	Full Time Equivalent
GDI	Gasoline Direct Injection
H ₂	Wasserstoff
HCCI	Homogeneous Charge Compression Ignition
HEV	Hybrid Electric Vehicle
IC	Integrated Circuit
IEA	International Energy Agency
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IMU-Institut	Institut für Medienforschung und Urbanistik
Kfz	Kraftfahrzeug

KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
LiCoO ₂	Lithium-Kobalt-Oxid
LiFe	Lithium-Metall
LiFePO ₄	Lithium-Eisen-Phosphat
Li-Ion	Lithium-Ion
LiMn ₂ O ₄	Lithium-Mangan-Oxid
LPG	Liquified Petroleum Gas
Li-Polymer	Lithium-Polymer
Low-CTE	Low coefficient of thermal expansion
NaNiCl	Natrium-Nickel Chlorid
NiCd	Nickel-Cadmium
Ni-MH	Nickel-Metallhydrid
NRW	Nordrhein-Westfalen
OEM	Original Equipment Manufacturer
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PHEV	PLug-In Hybrid Electric Vehicle
PKW	Personenkraftwagen
PNG	Pressurized Natural Gas
PwC	PricewaterhouseCoopers
RC-IGBT	Reverse Conducting Insulated-Gate Bipolar Transistor
REEV	Elektrofahrzeug mit Reichweitenverlängerung
TCO	Total Cost of Ownership
TDI	Turbocharged Direct Injection
TiO ₂	Titandioxid
USP	Unique Selling Propostion
V	Volt
VDA	Verband der Automobilindustrie
VVTL	Variable Valve Timing and Lift-intelligent System
Wh/kg	Wattstunde pro Kilogramm (Energiedichte)
W/kg	Watt pro Kilogramm (Leistungsdichte)
WRS	Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung

Impressum

Herausgeber

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg
Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH (WRS)
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und
Organisation (IAO)

Redaktion

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und
Organisation (IAO)
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. Dieter Spath, Dr.-Ing. Wilhelm
Bauer, Florian Rothfuss, Simon Voigt, Karola Rath

Layout/Satz/Illustration

SPIEGELGRAFIK, Stuttgart

Fotos

© fotolia.de, andy, ricardo atoury
© istockphoto.de, kwest, yellowj

Druck

Mediendienstleistungen des
Fraunhofer Informationszentrum IRB
Printed in Germany

Auslieferung und Vertrieb

Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH (WRS)
Friedrichstraße 10
70174 Stuttgart
Telefon: +49 711-2 28 35-0
cars.region-stuttgart.de
wrs.region-stuttgart.de

Bestellung per e-mail an: cars@region-stuttgart.de

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation (IAO)
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
Telefon: +49 711-970 2030
www.iao.fraunhofer.de

Bestellung per e-mail an: karola.rath@iao.fraunhofer.de

Erscheinungsjahr 2010

© Copyright liegt bei dem Herausgeber.

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Für die Richtigkeit der Herstellerangaben wird keine Gewähr übernommen.

