



Arbeitspapier Nr. 13

**Wirkungen der Elektromobilität
auf regionale Wertschöpfungsketten und auf Beschäftigung
in Baden-Württemberg**

Abschlussbericht

von

Jürgen Dispan und Heinz-Rudolf Meißner

Redaktionelle Bearbeitung:
Sara Bickelhaupt, Frank Iwer,
Hermann Novak, Beate Scheidt

Stuttgart, Oktober 2010



Angaben zum Projekt

Projekttitlel	Kompetenz und Innovation Förderung dynamischer Praxis-Wissenschafts-Beziehungen zur Gestaltung von Arbeit – Bildung – Innovationen im Rahmen einer Innovationen und damit Beschäftigung sichernden Standortstrategie
Durchführungsträger	Industriegewerkschaft Metall, Bezirksleitung Baden-Württemberg Stuttgarter Str. 23, 70469 Stuttgart
Projektleitung und Projektteam	Jörg Hofmann, Dipl. Ökonom, Bezirksleiter der IGM Baden-Württemberg Frank Iwer, Dipl. Volkswirt, Bezirkssekretär bei der IGM Baden-Württemberg Hermann Novak, Dipl. Soziologe, Dipl. Soz.arb. (FH) Sara Bickelhaupt, Dipl. Psychologin Ellen Lincke (Finanzen, internes Controlling und Koordination) Dr. Beate Scheidt, Dipl. Volkswirtin
Betreuung im BMBF	Dr. Dietmar Wuppermann (fachliche Betreuung) Carolin Golzbuder (administrative Betreuung)
Projektlaufzeit	01.01.2008 – 31.12.2011
Förderkennzeichen	ALK00400
Verbundpartner	Industriegewerkschaft Metall, Bezirksleitung Nordrhein-Westfalen Roßstr. 94, 40476 Düsseldorf
Kooperationspartner	BIKO – Bildungskoooperation in Baden Gesellschaft für kooperative Bildung mbH Karlstr. 22-24, 76133 Karlsruhe
Autoren der Expertise:	Dr. Jürgen Dispan IMU-Institut Stuttgart / kompetenz&innovation.bawü Dr. Heinz-Rudolf Meißner, FAST e.V. Berlin

Die Autoren tragen die alleinige inhaltliche Verantwortung für die Expertise. Rückschlüsse auf Positionen des Durchführungsträgers oder des Zuwendungsgebers können daraus nicht gezogen werden.

Das Projekt wird gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sowie aus Mitteln des ESF.

Inhalt

ZUSAMMENFASSUNG UND HANDLUNGSFELDER FÜR BETRIEBSRÄTE	1
1. EINLEITUNG	5
2. AUTOMOTIVE-CLUSTER BADEN-WÜRTTEMBERG	9
2.1 Strukturen des Automotive-Clusters	10
2.2 Beschäftigungsentwicklung	12
2.3 Aktuelle wirtschaftliche Entwicklung des Automobilbaus	15
3. ELEKTROMOBILITÄT – ZUM STAND DER DISKUSSION	17
3.1 Elektromobilität – Technologiebruch im Antriebsstrang	17
3.2 Antriebskonzepte	20
3.2.1 <i>Optimierung Verbrennungsmotoren</i>	20
3.2.2 <i>Hybridantriebe</i>	23
3.2.3 <i>Neue Akteure der Automobilindustrie</i>	25
3.2.4 <i>Brennstoffzellen-Antriebe</i>	28
3.3 Prognosen der Verteilung verschiedener Antriebsstränge im Markt	32
3.4 Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung	38
3.5 Komponenten des elektrischen Antriebes	41
3.5.1 <i>Elektromotor</i>	42
3.5.2 <i>Batteriesystem</i>	43
3.5.3 <i>Infrastruktur</i>	48
3.6 Beschäftigungseffekte	49
3.7 Qualifikationsanforderungen	55
4. POTENZIALE DER ELEKTROMOBILITÄT IN BADEN-WÜRTTEMBERG	57
4.1 Strukturstudie BW ^e mobil	58
4.2 Strukturbericht Region Stuttgart 2009	61
4.3 EFI-Gutachten	65
4.4 Potenziale und Risiken für Elektromobilität in Baden-Württemberg	67
5. THESEN UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	72
6. LITERATURVERZEICHNIS	78

Abbildungen

Abbildung 1: Lieferantenstruktur und Merkmale der Automobilindustrie in Baden-Württemberg	11
Abbildung 2: Automotive-Cluster Baden-Württemberg	12
Abbildung 3: Beschäftigung im Automotive-Cluster Baden-Württemberg 2009 (sozialversicherungspflichtig Beschäftigte).....	13
Abbildung 4: Entwicklung der im Fahrzeugbau sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Baden-Württemberg in den Jahren 2007 bis 2009	14
Abbildung 5: Umsätze im Automobilbau – Veränderungen beim Umsatzindex (Volumen) gegenüber dem jeweiligen Vorjahreszeitraum in Baden-Württemberg	15
Abbildung 6: Auftragseingänge im Automobilbau – Veränderungen des Auftragseingangsindex (Volumen) gegenüber dem jeweiligen Vorjahreszeitraum in Baden-Württemberg	16
Abbildung 7: CO ₂ -Grenzwerte für die großen Automobilmärkte	17
Abbildung 8: CO ₂ -Emissionen bei verschiedenen Energiepfaden	19
Abbildung 9: Alternative Antriebskonzepte und Elektromobilität.....	20
Abbildung 10: VW – Antriebs- und Kraftstoffstrategie.....	23
Abbildung 11: Prinzipien der Antriebskonzepte	25
Abbildung 12: Batterie-Kooperationen.....	27
Abbildung 13: Flottenerprobung zur Marktvorbereitung.....	31
Abbildung 14: Prognose für 2020 zu Antrieben in Einheiten nach drei Szenarien	33
Abbildung 15: Marktperspektive Komponenten E-Fahrzeuge.....	35
Abbildung 16: Antriebslandschaft 2020 (Verteilung nach Regionen in Prozent)	36
Abbildung 17: Heutige Wertschöpfung beim Antriebsstrang von Herstellern und Zulieferern.....	37
Abbildung 18: Marktanteile Lithium-Ionen-Batterien 2008	38
Abbildung 19: Lithium-Ionen-Batterie: Forschung und Produktion in Deutschland	39
Abbildung 20: Technologischer Reifegrad und Wertanteil eines batterieelektrischen Fahrzeuges.....	41
Abbildung 21: Komponenten-Betrachtung – vom Verbrennungsmotor zum E-Antrieb. 42	
Abbildung 22: Arten von Elektromotoren.....	43
Abbildung 23: LMP-Akku „Kolibri“ von DBM Energy	47
Abbildung 24: Weltweite Lithium-Produktion und Reserven in Mio. Tonnen	48

Abbildung 25: Beschäftigungseffekte auf der Komponentenebene für deutsche Zulieferer	51
Abbildung 26: Beschäftigungsrisiken und –chancen der Elektromobilität	52
Abbildung 27: Beschäftigungspolitische Auswirkungen der Elektromobilität auf Baden-Württemberg (und Deutschland) im Jahr 2020.....	53
Abbildung 28: Bosch Mahle TurboSystems – Struktur des joint ventures.....	55
Abbildung 29: Strukturstudie BW ^e mobil zum „Kernthema Batterietechnik“	60
Abbildung 30: Strukturbericht Region Stuttgart 2009: Auszug aus dem Kapitel „Wirkungsabschätzung auf Betriebe und Beschäftigung“	62
Abbildung 31: EFI-Gutachten: Auszüge aus dem Kapitel „Elektromobilität“	66
Abbildung 32: Arbeitsplatzwirkungen – abgeleitet aus der Metastudie BW ^e mobil.....	75

Zusammenfassung und Handlungsfelder für Betriebsräte

Baden-Württemberg ist einer der weltweit bedeutendsten Automobilstandorte mit rund 375.000 Beschäftigten im „Automotive-Cluster“. Ein technologischer Schwerpunkt im regionalen Automotive-Cluster liegt im Bereich Antriebsstrang, also zum Beispiel bei der Entwicklung und Fertigung von Motoren sowie Getrieben. Dieser Bereich wird in den nächsten Jahren das innovativste Feld in der Fahrzeugentwicklung sein. Dabei spielen unterschiedliche technologische Konzepte eine Rolle – von der Optimierung der Benzin- und Dieselmotoren über die Hybridisierung bis hin zur kompletten Elektrifizierung durch batterieelektrische und / oder Brennstoffzellen-Fahrzeuge (Elektromobilität). Wichtigste Innovationstreiber für die Elektrifizierung des Antriebsstranges sind Klimaschutzregelungen von der globalen bis zur lokalen Ebene, begrenzte Ölreserven sowie Nachfrageverhalten und Image. Elektromobilität könnte einer der Schlüssel sein, die den Weg vom fossilen Verkehr zur postfossilen Mobilität eröffnen. Neben den ökologischen und ökonomischen Chancen der Elektromobilität ist jedoch auch auf Risikofaktoren zu verweisen, insbesondere wenn die Wirkungen auf Zulieferer und auf Beschäftigung betrachtet werden.

Der Technologiewandel beim Automobil hin zur Elektromobilität kann als Systemwechsel bezeichnet werden. Elektromobilität impliziert einen langfristigen Strukturwandel der Automobilindustrie, dessen Folgen für die Wertschöpfungskette und für Beschäftigung höchst ungewiss sind. Eine bedeutende Frage in diesem Zusammenhang ist, ob der technologische Vorsprung, den die deutsche Automobilindustrie beim Verbrennungsmotor zweifellos hat, in ergänzter oder in neuer Form bei der Elektromobilität gehalten werden kann.

Entscheidend für Arbeitsplätze wird zudem sein, ob ein solcher Vorsprung auch in Wertschöpfung und Produktion im Land umgesetzt werden kann. Die entscheidende Frage ist also: Schafft Baden-Württemberg den Systemwechsel zur Elektromobilität als Technologiestandort und als Produktionsstandort? Eine große Herausforderung liegt demnach darin, die Elektromobilität hierzulande zu industrialisieren, also die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass neue Antriebs- und Fahrzeugkonzepte und neue Komponenten nicht nur in Baden-Württemberg entwickelt, sondern auch gefertigt werden.

In der vorliegenden Studie werden Wirkungen der Elektromobilität auf regionale Wertschöpfungsketten analysiert und Chancen und Risiken für Beschäftigung diskutiert. Insbesondere wird dabei auf Strukturen und auf Potenziale in Baden-Württemberg eingegangen. Für die Betrachtung von Beschäftigungsperspektiven in der Automobilindustrie ist der Blick auf Elektromobilität nicht hinreichend. Strukturelle Veränderungen sind als Wechselwirkung verschiedener Prozesse, die in unterschiedlichen zeitlichen Dimensionen stattfinden, zu erwarten:

Marktverschiebungen in mittelfristiger Perspektive, sowohl geographisch in Richtung Schwellenländer (vor allem China), als auch segmentbezogen zugunsten der Kleinwa-

gen- und Kompaktklasse: Diese Verschiebungen der Märkte sind auch mit einer weiteren Globalisierung der Produktions- und auch der FuE-Strukturen verbunden. Neue Werke und den Ausbau der Kapazitäten gibt es fast nur noch in den ausländischen Wachstumsmärkten. Damit ist vor allem die Beschäftigung in der Produktion, aber auch in Entwicklung und Konstruktion tendenziell von Verlagerung bedroht.

Neuordnung der Wertschöpfungskette mit Bereinigung von Überkapazitäten in Folge der Finanz- und Wirtschaftskrise in den nächsten Jahren: Für kleine und mittlere Zulieferer und insbesondere für Ausrüster der Automobilindustrie aus dem Maschinenbau bestehen nicht nur Gefahren des krisenbedingten Abbaus von Arbeitsplätzen infolge von Insolvenzen oder von Restrukturierungen, sondern auch durch Veränderungen in der Wertschöpfungskette.

Fortsetzung der permanenten Produktivitätssteigerungen in den nächsten Dekaden: In der Automobilindustrie wird mit jährlichen Produktivitätssteigerungen von drei bis fünf Prozent gerechnet. Es ist davon auszugehen, dass das Rationalisierungstempo höher als das Wachstum ist und es somit zu einer permanenten, rationalisierungsbedingten Verringerung des Arbeitsvolumens kommt. Damit sind Arbeitsplätze in Gefahr.

Technologiewandel zur Elektromobilität mit neuen Wertschöpfungsstrukturen in langfristiger Perspektive: Die zunehmende Elektrifizierung des Antriebsstranges, an deren Ende ein batteriebetriebenes Elektrofahrzeug stehen kann, hat weitreichende Auswirkungen auf Automobilhersteller und Zulieferer. Beschäftigungsseitig geht sie mit einem tendenziell abnehmenden Arbeitsvolumen bei Produktionstätigkeiten einher. Dies kann daran abgelesen werden, dass für den heutigen, „traditionellen“ Antriebsstrang beim Verbrennungsmotor ca. 1.400 Teile, beim Antriebsstrang des Elektromotors nur noch ca. 210 Teile benötigt werden.

Gesellschaftlicher Wandel mit veränderten Einstellungen zum Individualverkehr und dem Aufkommen neuer Mobilitätskonzepte in mittel- bis langfristiger Perspektive: Wenn beim Auto zunehmend „Nutzung“ statt „Eigentum“ im Vordergrund steht, wird sich das auf den Pkw-Bestand und damit direkt auf Absatzpotenzial und Produktionsvolumen von Automobilherstellern und von Zulieferern auswirken. Für Automobilhersteller ergeben sich zukünftig durch neue Geschäftsmodelle (Mobilitätsdienstleistungen) auch Chancen.

Betriebliche und überbetriebliche Politik darf nicht nur den die aktuelle Diskussion beherrschenden Technologiewandel zur Elektromobilität in den Fokus nehmen, wenn auch gerade in diesem Feld viele Ängste bei Belegschaften und Betriebsräten von Zulieferern von Verbrennungsmotoren-Komponenten bestehen, die ernst genommen werden müssen. Gleichwohl sind alle diese fünf Faktoren des strukturellen Wandels bei einer strategischen Auseinandersetzung mit der Zukunft der Automobilindustrie im Blick zu behalten. Daraus ist ein Handlungskonzept für Interessenvertretungen auf betrieblicher und auf gewerkschaftlicher Ebene zu entwickeln. Eckpunkte eines Handlungskonzepts könnten sein:

Frühwarnsystem aufbauen: Gefährdungen erkennen

Ein wichtiges Handlungsfeld für Betriebsräte ist es, die Entwicklungen in den oben genannten fünf Feldern zu beobachten und bei konkret erkennbaren oder sich abzeichnenden Veränderungen Zusammenhänge herzustellen und vorausschauend mögliche Wirkungen auf das Unternehmen beziehungsweise auf die Arbeitsplätze abzuleiten und abzuschätzen. Es empfiehlt sich, das erlangte Ergebnis im Sinne einer Gefährdungs- und Risikoanalyse zu hinterfragen, Schwerpunkte für das weitere Vorgehen zu setzen sowie Prioritäten für betriebliches Handeln festzulegen. Es ist sinnvoll, eine systematische Stärken-Schwächen-Analyse zur Grundlage für ein Frühwarnsystem zu machen. Eine Plattform für die Diskussion strategischer Positionen des Unternehmens bieten neben den Betriebsratsgremien auf verschiedenen Ebenen (Gesamtbetriebsrat, Konzernbetriebsrat) insbesondere der Wirtschaftsausschuss und ebenso der Aufsichtsrat. Die frühzeitige Einbeziehung der Vertrauensleute in das Frühwarnsystem ist unumgänglich.

Betriebsräte steigen in die Strategiedebatte ein

Betriebsräte steigen in die Strategiedebatte ein und begleiten den Strukturwandel dadurch, dass sie Chancen und Bedingungen herausarbeiten, in die Diskussion einbringen und im Betrieb die Erkenntnisse umsetzen. Zur Strategiedebatte und zur Begleitung des Strukturwandels gehört zum Beispiel, Diversifizierung zu überprüfen und einzufordern. Es sind auch neue Produkte innerhalb der Wertschöpfungskette Automobil, also zum Beispiel im Feld der Elektromobilität, aber auch außerhalb des Automobilbereiches zu fordern.

Zur Strategiedebatte und zur Begleitung des Strukturwandels gehört auch, die vorhandenen Erfahrungen und Kompetenzen zu bilanzieren und sie für neue Produkte als Basis zu nutzen. Wichtig dabei ist, Qualifikationen und Kompetenzen zu komplettieren und weiterzuentwickeln.

Qualifizierungskonzepte einfordern und entwickeln

Ein bedeutsamer Punkt ist die Ermittlung von Qualifizierungsbedarfen, wobei die Ergebnisse in die Strategiedebatte einzubringen sind. Es empfiehlt sich, die Zusammenarbeit mit den Entwicklungsabteilungen auszubauen, denn in diesen Bereichen taucht eigentlich zuerst die Frage: „Was brauchen wir an neuen / veränderten Qualifikationen für geplante Produkte?“ auf. Allerdings konzentrieren sich Entwickler eher auf die technologische Seite von Innovationen. Gerade deshalb ist es wichtig, in der Diskussion mit ihnen ihren Blick auf Qualifikationen und Kompetenzen zu lenken beziehungsweise zu erweitern.

Als Instrument bietet sich ein Kompetenzmanagementsystem an, das vorhandene Qualifikationen erfasst, zukünftige Qualifikationsprofile ermittelt sowie Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen daraus ableitet und umsetzt.

Vernetzung der Betriebsräte durch überbetriebliche Plattformen organisieren

Auf betrieblicher Ebene aktiv zu werden, ist unabdingbar. Aber genauso wichtig ist, gemeinsam die Herausforderung anzunehmen, da spätestens ab dem zweiten Blick klar wird, dass nicht nur OEMs und die Zulieferer von den Entwicklungen betroffen sind. Viele Betriebe, die zunächst vielleicht nur indirekt durch die Veränderungen auf dem Automobilsektor tangiert werden, werden aber Schritt für Schritt in die sich ankündigenden Umwälzungen direkt einbezogen sein. Es empfiehlt sich, auf Bezirks- und auf Verwaltungsstellenebene Betriebsräte-Plattformen für den Informations- und Erfahrungsaustausch zu bilden. Mit den bezirklichen und örtlichen Plattformen werden die Betriebsräte in die Lage versetzt, gemeinsam die Strategiedebatte zu führen. Dazu tauschen sie sich über den technologischen und strukturellen Wandel und die betrieblichen Reaktionen aus und formulieren betriebliche und überbetriebliche Konsequenzen und Forderungen.

Branchenrat Automotive-Baden-Württemberg bilden

Regionales Entwicklungskonzept „Zukunft der Automobilindustrie“ entwickeln

Die Entwicklungen auf dem Automobilsektor sind von struktur- und industriepolitischer Bedeutung. Deshalb ist auf Landesebene ein Dialog zwischen Politik, Gewerkschaften, Unternehmen und Verbänden zu initiieren. Dabei muss es um die Entwicklung von struktur- und industriepolitischen Ansätzen für die Zukunft gehen. Zu erarbeiten sind regionale Entwicklungskonzepte, um den Strukturwandel zu gestalten.

Kernpunkte eines Entwicklungskonzepts, für das von Seiten der IG Metall Impulse gesetzt werden, sind: Voraussetzungen für die Industrialisierung der Elektromobilität schaffen, Sicherstellung der Einheit von Entwicklung und Produktion von E-Fahrzeugen, ihren Komponenten und neuer Produkten fürs Auto und darüber hinaus in Baden-Württemberg und zum Beispiel Verstärkung der Diversifizierungsdiskussion, um Branchenabhängigkeiten und ihre Folgen frühzeitig aufzugreifen.

Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) konsequent nutzen

Die NPE unterstützt die Bundesregierung bei der Umsetzung des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität. Ziel ist es, Deutschland zum Leitmarkt und zum Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln. Die Gewerkschaften sind an der NPE an prominenter Stelle im Koordinierungskreis sowie an zwei Arbeitsgruppen beteiligt. Die NPE eröffnet die Möglichkeit, auf der nationalen Ebene eine beschäftigungsorientierte Industriepolitik mit zu gestalten. Dabei geht der Ansatz weit über die Automobilindustrie hinaus und umfasst zum Beispiel die Chemieindustrie sowie die gesamte Elektrizitätswirtschaft. Diese Gestaltungsmöglichkeit gilt es, konsequent zu nutzen und mit regionalen gewerkschaftlichen Ansätzen zu verknüpfen.

1. Einleitung

Die deutsche Automobil- und Zulieferindustrie steht Mitte des Jahres 2010 vor einem technologischen Wendepunkt. Zumindest dann, wenn die Prognosen, die politisch vorgegebenen Ziele der Elektromobilität sowie die Einschätzungen vieler Experten zutreffen sollten.

Zu diesem Zeitpunkt fühlt man sich als Branchenbeobachter gleichsam ca. zehn Jahre zurückversetzt, als der Durchbruch der Brennstoffzelle als emissionsloses Antriebssystem der näheren Zukunft proklamiert wurde. Im Hinblick auf ein rein elektrisches (batteriebasiertes) Fahren mit Personenkraftwagen sind noch so viele organisatorische, technologische und politische Fragen offen, dass eine Prognose für 2020 ebenso dem Blick in die Kugel gleichkommt wie die Perspektive 2050. Sollten die vorliegenden Prognosen jedoch einigermaßen treffsicher Zukunft beschreiben, dann erwartet die Branche durch die schrittweise Ablösung des Verbrennungsmotors durch elektrifizierte Antriebskomponenten eine Revolution im Antriebsstrang. Anders als vor zehn Jahren bei der Brennstoffzelle steht beim batterieelektrischen Auto die Markteinführung unmittelbar bevor: Japanische und chinesische Hersteller haben angekündigt, Elektrofahrzeuge noch in diesem Jahr auf den Markt zu bringen, die europäischen Hersteller ab 2012 / 2013. Die Erwartungen der Nutzerinnen und Nutzer sind ob der öffentlichen Debatten hoch. Offenbar sind sie auch bereit, für ein „zero emission vehicle“ einen vergleichsweise hohen Preis zu zahlen, glaubt man den Absatzerwartungen von beispielsweise Nissan und Mitsubishi. Daimler plant den E-Smart in (Klein-)Serie zu produzieren, Volkswagen hat eine Initiative e.Motion gestartet und BMW plant seine me-gacity-vehicles durch Einsatz von kohlefaserverstärkten Kunststoffen deutlich leichter zu machen.

Wurde hier nur eine riesige Werbekampagne gestartet, um im gleichen Atemzug zum Alltag der inkrementellen Weiterentwicklung und Emissionsreduzierung beim traditionellen Antriebsstrang (Verbrennungsmotor) überzugehen, oder stehen wir tatsächlich am Beginn einer Zeitenwende? Skeptiker und Kritiker der Automobilindustrie wie der Bundesgeschäftsführer der Deutschen Umwelthilfe J. Resch konstatiert in seinem Interview mit dem Tagesspiegel (06. April 2010), dass die Politik von der Chimäre einer elektromobilen Zukunft träume, dass es wenig Sinn mache, den Kauf von E-Fahrzeugen zu subventionieren, sondern dass die Emissionen der Fahrzeuge als Besteuerungsgrundlage und damit als Steuergröße dienen sollten, um hierüber die Automobilhersteller zu zwingen, heute schon deutlich emissionsärmere Fahrzeuge anzubieten.

Unabhängig von der Antwort auf die Frage ob Chimäre oder nicht, stellt sich für die Interessenvertretungen der Beschäftigten in den Automobilherstellerwerken und bei den Zulieferern die Frage, was ist zu erwarten, wie können wir uns antizipativ vorbereiten, was macht die Vielzahl von Unternehmen in Baden-Württemberg angesichts des Einzuges von elektrifizierten Antriebssträngen in den nächsten Jahren?

Die Bezirksleitung der IG Metall Baden-Württemberg hat im Rahmen des Projektes „Kompetenz & Innovation“ daher im Oktober 2009 den Auftrag für eine Kurzstudie an

die Autoren erteilt, die Wirkungen der Elektromobilität auf regionale Wertschöpfungsketten und auf Beschäftigung in Baden-Württemberg soweit wie möglich zu untersuchen. Die besondere Herausforderung war, mit begrenztem Budget und vor allem eng begrenzter Zeit die formulierten Anforderungen zu erfüllen.

Das vorliegende Papier ist wie folgt aufgebaut: Nach den methodischen Vorbemerkungen gehen wir im Kapitel 2 auf die Struktur sowie die aktuelle Entwicklung des Automobilbaus im Land Baden-Württemberg ein (Stand der statistischen Befunde ist Ende 2009).

Kapitel 3 umfasst die Auswertung des aktuellen und veröffentlichten Standes der Diskussion um Elektromobilität und beschreibt die verschiedenen Antriebskonzepte, geht auf die verschiedenen Prognosen zur Marktdurchdringung von E-Antrieben sowie das Programm der Bundesregierung zur Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland ein. Am Ende dieses Kapitels wird letztlich auf die Beschäftigungsperspektive eingegangen, indem vorliegende Einschätzungen zu Chancen und Risiken von Beschäftigung in Baden-Württemberg kritisch reflektiert werden.

Kapitel 4 behandelt die vorhandenen Potenziale in Baden-Württemberg, die auf eine elektromobile Zukunft gerichtet sind. In Kapitel 5 haben wir die Schlussfolgerungen in Form von Thesen entwickelt. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung ab.

Methodische Vorbemerkungen

Dieser Abschlussbericht im Rahmen des Teilprojektes „Wirkungen der Elektromobilität auf Beschäftigung und auf Wertschöpfungsketten in Baden-Württemberg“ basiert methodisch zum einen auf der Auswertung der Studien zur Elektromobilität, die in den letzten vier Jahren vor allem von internationalen Beratungsunternehmen sowie von Forschungsinstituten in Deutschland erschienen sind. Entsprechend wurde die einschlägige Presse ausgewertet.

Zum anderen wurden vor allem Betriebsräte von Systemzulieferern in Baden-Württemberg mittels teilstandardisierter Frageleitfäden persönlich interviewt. Ausführliche Expertengespräche wurden mit zehn Betriebsräten von fünf Systemzulieferern geführt (Bosch, Mahle, Getrag, Kolbenschmidt-Pierburg, ZF). Dazu kommen fünf Telefoninterviews mit Betriebsräten von Zulieferern. Auf Seiten der Automobilhersteller wurden mit Betriebsräten von Daimler und Audi ausführliche Experteninterviews durchgeführt.

Weitere Experteninterviews konnten mit den Leitern der zentralen Forschungsabteilung der Vorentwicklungsabteilung aus Zulieferunternehmen (Kolbenschmidt-Pierburg, ZF) und mit Vertretern der Wissenschaft (Fraunhofer IAO, WZL an der RWTH Aachen, DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte) geführt werden. Zusätzlich wurden noch zwei Interviews mit IG Metall-Funktionären aus Verwaltungsstellen geführt, die neben einem Überblick ihres regionalen Organisationsbereiches vor allem auch Positionen in Aufsichtsräten von Hersteller- und Zulieferunternehmen innehaben.

Bei verschiedenen Veranstaltungen und Workshops wurden Zwischenstände, Thesen und Ergebnisse des Projektes in Form von Referaten vorgestellt und mit den Teilnehmern diskutiert:

- „Automobilregion Stuttgart im Umbruch“ (OV-Klausur der IG Metall Ludwigsburg am 18. Januar 2010 in Inzell)
- „Automobilregion Stuttgart im Umbruch“ (Wirtschaftsförderung Herrenberg am 26. Februar 2010)
- „Automotive Cluster Region Stuttgart“ (Inno-Round-Table Region Stuttgart der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart am 08. März 2010)
- „Technologischer Wandel im Bereich Automobil“ (IG Metall Heilbronn-Neckarsulm, Betriebsräte- und Vertrauensleute-Klausur am 20. März 2010 in Flehingen)
- „Automotive Cluster Region Stuttgart – Umbruch in der Automobilregion“ (Anhörung der Grünen-Fraktion im Landtag Baden-Württemberg am 24. März 2010 in Stuttgart)
- „Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstranges auf Beschäftigung und auf Wertschöpfungsketten in Baden-Württemberg“ (Betriebsrat Daimler Untertürkheim am 12. März und am 12. Mai 2010)
- „Elektromobilität – Strukturbruch in der Wertschöpfungskette der Automobilindustrie“ (Schmiedekonferenz 2010 des IG Metall Zweigbüros Düsseldorf am 11. Mai 2010 in Hagen)
- „Wirkungen der Elektromobilität auf Wertschöpfungsketten und auf Beschäftigung“ (Fachkonferenz „Perspektiven der Beschäftigung für die Auto- und Zulieferindustrie“ der IG Metall Bayern am 16. / 17. Juni 2010 in Fürth)
- „Elektromobilität und Greentech als Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau“ (Branchentag Maschinenbau der IG Metall am 23. Juni 2010 in Böblingen).

Ergänzend haben wir an weiteren einschlägigen Tagungen zur Elektrifizierung des Antriebsstranges teilgenommen, auf denen unter anderem sowohl Fahrzeughersteller als auch Zulieferunternehmen ihre strategische Positionierung präsentierten:

- „Zukunft der Autoindustrie“ (VDI) zu neuen Antriebskonzepten und neuen Mobilitätskonzepten in Ulm (22. Oktober 2009)
- „Brennstoffzellenforum Hessen“ (Hessen Agentur) in Darmstadt (9. November 2009)
- „Standortveranstaltung Flugfeld 2020“ mit Schwerpunkt Elektromobilität der Städte Böblingen und Sindelfingen (27. November 2009)
- „Treffpunkt Automotive“ (Wirtschaftsförderung Region Stuttgart (02. Dezember 2009)
- „Forum Elektromobile Stadt“ (Fraunhofer IAO) in Leinfelden (21. Januar 2010)

- „Produktionstechnik auf dem Weg zur Elektromobilität“ (VDW, METAV) in Düsseldorf (24. Februar 2010)
- „Informationstag Elektromobilität“ (Landesinitiative Baden-Württemberg) in Stuttgart (29. März 2010)
- „Mobilitec“ – Fachtagung Elektromobilität bei der Hannover Messe (21. April 2010)

Wir haben die uns vorliegenden Informationen entsprechend den Standards des wissenschaftlichen Arbeitens gesichtet und nach bestem Wissen und Gewissen ausgewertet und dargestellt. Versäumnisse oder Fehler gehen allein zu Lasten der beiden Autoren.

Zu den Autoren

Jürgen Dispan (Dr. phil.) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter beim IMU Institut in Stuttgart. (Vom 15. Oktober 2009 bis zum 30. Juni 2010 war er im Rahmen der Erstellung der vorliegenden Studie Mitglied im Projektteam von „kompetenz&innovation.bawü“). Inhaltliche Schwerpunkte von Jürgen Dispan liegen in analytischen und konzeptionellen Arbeiten rund um die Bereiche Branche, Cluster, Strukturwandel und Innovation sowie Mitbestimmung und Partizipation in Betrieb und Region. Studien der letzten Jahre befassten sich insbesondere mit verschiedenen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes wie Automotive, Maschinenbau, Möbelindustrie.

Heinz-Rudolf Meißner (Dr. rer. oec.) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH (WZB) und wissenschaftlicher Mitarbeiter der FAST - Forschungsgemeinschaft für Außenwirtschaft, Struktur- und Technologiepolitik e.V., Berlin. Er verfügt über eine mehr als 25jährige Forschungserfahrung und beschäftigt sich seit Mitte der 1980er Jahre mit der Entwicklung der Automobil- und Zulieferindustrie. In den letzten zehn Jahren fokussierten seine Arbeiten auf Innovationsentwicklungen und Clusterbildung im europäischen Automobilsektor.

Stuttgart / Berlin im Juni 2010
 Jürgen Dispan / Heinz-Rudolf Meißner

2. Automotive-Cluster Baden-Württemberg

Wirtschaftsstruktur und Arbeitsmarkt des Landes Baden-Württemberg sind von verschiedenen Branchen geprägt. Die Automobilwirtschaft – im Folgenden sprechen wir vom Automotive-Cluster¹ – spielt dabei eine herausragende Rolle. In erster Linie wird der Automotive-Cluster mit dem Industriezweig Fahrzeugbau in Verbindung gebracht. Die Verflechtungen gehen jedoch weit über diese statistische Abgrenzung hinaus, wie die Betrachtung der Wertschöpfungskette zeigt.

Die Finanz- und Wirtschaftskrise wirkte sich sehr stark auf den Automotive-Cluster aus. Aufgrund massiver Umsatz- und Produktionsrückgänge bestand bis weit ins Jahr 2010 hinein die Gefahr, dass ein relevanter Anteil von Unternehmen die Krise nicht überleben wird, vor allem KMU-Zulieferer aus verschiedenen Branchen und Ausrüster aus dem Maschinenbau. Es wurden gravierende Auswirkungen auf Beschäftigung befürchtet. Die besondere Brisanz der Entwicklung wird deutlich, wenn die zentrale Bedeutung des Automotive-Clusters für Baden-Württemberg betrachtet wird. Auch in der Krise dürfen die Betriebe des Clusters technischen Fortschritt und Innovationen nicht vernachlässigen. Unternehmen, die nach der Wirtschaftskrise den Anschluss an die wichtigsten Innovationsentwicklungen verpasst haben, geraten dann in Gefahr.

Die größten technischen Herausforderungen für die Automobilwirtschaft im 21. Jahrhundert liegen in der Reduzierung beziehungsweise Vermeidung von Emissionen und im sparsamen beziehungsweise effizienten Energieverbrauch. Die großen Trends und wichtigsten Innovationen in der Kraftfahrzeugtechnik, auf die in den folgenden Kapiteln eingegangen wird, beziehen sich demnach auf die Weiterentwicklung des Antriebsstranges und die Elektrifizierung des Automobils. Alles in allem geht es kurzfristig darum, die aktuelle Krise durchzustehen und mittelfristig darum, neue Produkte zu entwickeln und an den Markt zu bringen, die den gesetzlichen Klimaschutzvorgaben und den gesellschaftlichen Zukunftstrends entsprechen. Im vorliegenden Kapitel werden wirtschaftliche Strukturen und die Entwicklung von Beschäftigung im Automotive-Cluster Baden-Württemberg analysiert.

¹ Ein Cluster wird als räumliche Konzentration von in einer Wertschöpfungskette miteinander verbundenen Unternehmen (vom Endhersteller über spezialisierte Zulieferer bis hin zu Dienstleistungsunternehmen) und zugehörigen unterstützenden Institutionen (von der Forschung bis zur Wirtschaftsförderung) definiert. Das Verhältnis zwischen den Clusterakteuren ist durch Kooperation und Konkurrenz gekennzeichnet. Vorteile von Clustern für die Regionalwirtschaft liegen im Angebot eines spezialisierten Arbeitskräftepotenzials, in der Konzentration von Zulieferern und Dienstleistungsunternehmen sowie in guten Bedingungen für den Wissenstransfer. Erst die Vernetzung von Unternehmen, Forschungseinrichtungen und regionalen Akteuren entlang von Wertschöpfungsketten nutzt Synergien zwischen den Beteiligten besonders gut. Regionale Cluster mit einer hohen Vielfalt, starken Ausprägung und enger Vernetzung weisen standortbegünstigende Wettbewerbsvorteile auf und wirken sich positiv auf Beschäftigung aus.

2.1 Strukturen des Automotive-Clusters

Baden-Württemberg ist einer der weltweit bedeutendsten Automobilstandorte, in dem sich Fahrzeughersteller, Automobilzulieferer, Engineering-Dienstleister, Forschungsinstitute und Hochschulen mit spezialisierter Forschung und Lehre einzigartig ballen – und somit einen regionalwirtschaftlichen Cluster bilden. In allen Regionen Baden-Württembergs sind Betriebe aus der Automobilwirtschaft vorhanden. Hochburg dieses Automotive-Clusters ist die Region Stuttgart mit einem Umsatzanteil von 52 Prozent im Jahr 2008 (gemessen am Fahrzeugbau-Umsatz Baden-Württembergs), wichtige weitere Zentren sind die Regionen Heilbronn-Franken (14 Prozent), Mittlerer Oberrhein (11 Prozent), Donau-Iller (6 Prozent), Rhein-Neckar-Odenwald und Bodensee-Oberschwaben (jeweils 4 Prozent) (Dispan et al. 2009: 96).

Wichtige Elemente des Automotive-Clusters sind zum einen die Automobilhersteller (OEM) Daimler, Porsche, Audi, die sich im Premiumbereich positionieren. Zum anderen ist der Automotive-Cluster durch die Stammhäuser weltweit agierender Zulieferunternehmen charakterisiert, wie beispielsweise dem weltweit größten Autozulieferer Bosch (Platz 1) und den ebenfalls in den Top-100-Automotive-Suppliers 2009 der Zeitschrift Automobil-Produktion gelisteten ZF-Group (Platz 13), Mahle (26), Behr (44), Getrag (56), Eberspächer (60), Kolbenschmidt-Pierburg (65), Freudenberg (78), Mann+Hummel (87), Peguform (94). Zudem sind Tochterunternehmen anderer internationaler Top-Zulieferer in Baden-Württemberg vertreten, wie beispielsweise Johnson Controls, Magna, Faurecia, TRW und Valeo (alle aus den Top-20 der genannten Liste) (vgl. Automobil-Produktion, Heft 10-2009). Diese großen Zulieferer beliefern die Automobilhersteller häufig direkt und befinden sich somit in einer Tier-1-Position. Tier-Position (Tier (engl.) = Rang) bezeichnet die Stellung in der Wertschöpfungskette.

Dazu kommt eine Vielzahl mittelständischer Zulieferer, die sich häufig in einer vorgelagerten Position in der Wertschöpfungskette befinden (Tier-2 oder Tier-3), also keine Direktlieferanten sind. In Baden-Württemberg finden sich solche weiteren Kfz-Zulieferer aus Industrie und Handwerk, aber auch Ausrüster (zum Beispiel Werkzeugmaschinenbau) und Automotive-Dienstleister. Allein für die Region Stuttgart wird davon ausgegangen, dass über 400 kleine und mittlere Zulieferbetriebe angesiedelt sind, die ganz oder teilweise für die Automobilindustrie arbeiten. In Baden-Württemberg erhöht sich die Anzahl entsprechend. Daneben nimmt der automobilbezogene Maschinen- und Anlagenbau mit Unternehmen wie Dürr, Heller, Index, Schuler, Trumpf eine zentrale Stellung in Baden-Württemberg ein.

Abbildung 1: Lieferantenstruktur und Merkmale der Automobilindustrie in Baden-Württemberg



Quelle: IMU Institut Stuttgart; eigene Darstellung

Die Automotive-Unternehmen in Baden-Württemberg können nach ihrer technischen Spezialisierung auf verschiedene Technologiebereiche unterschieden werden: Antrieb / Powertrain (Motor und Aggregate), Ausstattung / Interieur (Airbag, Cockpit, Sitze, Klimasystem), Fahrwerk (Lenkung, Bremssystem, Federung, Räder), Karosserie (Rohbau, Anbauteile, Beleuchtung) und Elektronik (Stromversorgung, Motormanagement, Infotainment). Viele der Autozulieferer in Baden-Württemberg sind auf den Antrieb beziehungsweise Powertrain spezialisiert. Nicht zuletzt durch diese starke Orientierung auf den Powertrain hat ein Wandel hin zur Elektromobilität enorme Auswirkungen für das „Autoland Baden-Württemberg“.

Die Unternehmen des Automotive-Clusters können entsprechend ihrer Branchenzugehörigkeit verschiedenen Bereichen zugeordnet werden. Im Zentrum des Clusters steht der „**Clusterkern**“. Unter Clusterkern wird der direkte Automobilbau verstanden, das heißt die Hersteller von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren (OEM), die Hersteller von Karosserien, Aufbauten und Anhängern sowie die Hersteller von Teilen und Zubehör für Kraftwagen und Kraftwagenmotoren. Der „**Produktionscluster**“ erfasst neben dem direkten Automobilbau Zulieferunternehmen aus anderen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes, die wesentliche industrielle Verknüpfungen mit der Automobilindustrie aufweisen. Automobilbezogene Produkte anderer Branchen sind beispielsweise Roboter / Produktionsstraßen / Pressen (Maschinenbau), Kabelbäume / Antennen (Elektroindustrie), Stoffbezüge / Cabriodächer (Textilindustrie) oder Lacke / Kühlmittel (Chemieindustrie). Dem „**Automotive-Cluster**“ insgesamt werden neben dem Produktionscluster noch automobilbezogene Dienstleistungsunternehmen (Hardware, Softwarehäuser, FuE, Ingenieurbüros) und das Kfz-Handwerk zugeordnet.

Abbildung 2: Automotive-Cluster Baden-Württemberg



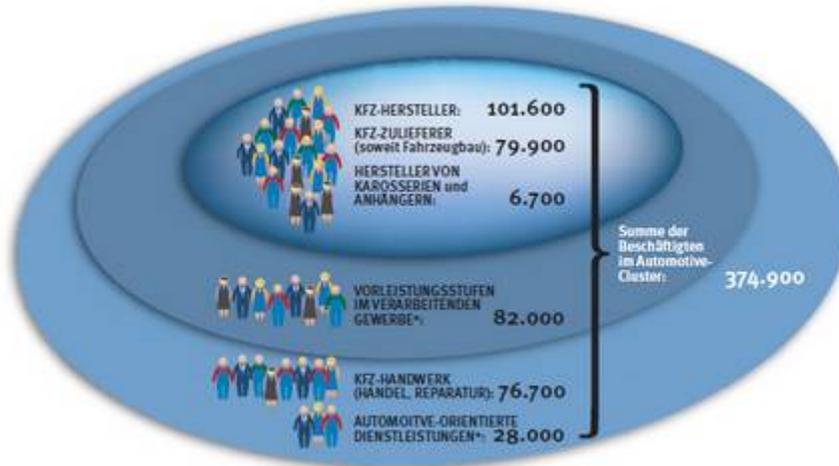
Quelle: IMU Institut Stuttgart; eigene Darstellung

2.2 Beschäftigungsentwicklung

Um einen Eindruck über die Beschäftigungseffekte im Automotive-Cluster zu vermitteln, werden statistische Daten um fundierte Schätzungen ergänzt (vgl. Dispan et al. 2009: 195). Neben den Beschäftigten im direkten Automobilbau gibt es hohe sekundäre Beschäftigungseffekte in weiteren Industrieunternehmen des Produktionsclusters. Immer wichtiger wurden für die Automobilwirtschaft in den letzten Jahren externe Dienstleister wie beispielsweise Entwicklungsdienstleister, die dem Automotive-Cluster zuzuordnen sind. Arbeitsplätze im Kfz-Handwerk, das heißt in Autohäusern, Instandhaltungs- und Reparaturwerkstätten, werden ebenfalls dem erweiterten Automotive-Cluster zugeordnet. Auf Basis der Zahlen der Beschäftigtenstatistik² kombiniert mit einer IMU-Schätzung waren im Jahr 2009 rund 375.000 Personen im Automotive-Cluster Baden-Württemberg sozialversicherungspflichtig beschäftigt. Das war knapp jeder zehnte Beschäftigte in Baden-Württemberg.

² Die Beschäftigtenstatistik der Bundesagentur für Arbeit erfasst die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten unabhängig von der Unternehmensgröße. Erhebungszeitpunkt der hier verwendeten Daten ist jeweils der 30. Juni.

**Abbildung 3: Beschäftigung im Automotive-Cluster Baden-Württemberg 2009
(sozialversicherungspflichtig Beschäftigte)**



*=IMU-Schätzung

Quelle: Statistik der Bundesagentur für Arbeit und IMU-Berechnungen; eigene Darstellung.

Mit rund 188.200 Personen ist die Hälfte der Beschäftigten des Automotive-Clusters im Clusterkern tätig. Daher folgt anschließend eine detaillierte Betrachtung der Beschäftigungsentwicklung im Fahrzeugbau.³ Neben dem direkten Automobilbau (Clusterkern) umfasst der Fahrzeugbau in der amtlichen Statistik den sonstigen Fahrzeugbau. Im Jahr 2009 waren weniger als fünf Prozent der Fahrzeugbau-Beschäftigten im sonstigen Fahrzeugbau tätig.

Die Beschäftigungsentwicklung im Fahrzeugbau verlief im jahrzehntelang prosperierenden Baden-Württemberg bis Anfang der 1990er Jahre positiv. Einen überaus heftigen Einschnitt markiert die Krise 1992 bis 1994. Allein in der Region Stuttgart wurden in dieser strukturellen Krise fast 25.000 Arbeitsplätze allein im Fahrzeugbau abgebaut (Iwer et al. 2002). Seit Ende der 1990er Jahre bis 2003 verzeichnete der Fahrzeugbau ein Beschäftigungswachstum. Anschließend ging die Beschäftigung bis zum Jahr 2006 zurück. Im Jahr 2007 und in der ersten Hälfte des Jahres 2008 war die positive Konjunktur spürbar und es wurde Beschäftigung aufgebaut (Dispan et al. 2009). Mit einem deutlichen Einschnitt von fast 6.500 Beschäftigten weniger (-3,2 Prozent) macht sich die Wirtschaftskrise – trotz Kurzarbeit, Reduzierung der Zeitkonten und weiterer beschäftigungspolitischer Aktivitäten – im Jahr 2009 bemerkbar. Neben dem krisenbedingten Arbeitsplatzabbau wirkt sich auch die permanente Rationalisierung in der Automobilindustrie stark auf Beschäftigung aus, sowohl quantitativ als auch qualitativ. Die

³ Datenbasis für die Analyse der Beschäftigungsentwicklung ist eine Sonderauswertung der Beschäftigtenstatistik der Bundesagentur für Arbeit. Aufgrund mehrerer Umstellungen der Wirtschaftszweigsystematik ist nur eine eingeschränkte Verlaufsanalyse der Beschäftigtenzahlen realisierbar. Für die differenzierte Analyse innerhalb des Fahrzeugbaus sind Beschäftigtenzahlen von 2007 bis 2009 nach der Wirtschaftszweigsystematik WZ 08 verfügbar. Aussagen über die Jahre 1999 bis 2006 basieren auf der WZ 03.

differenzierte Betrachtung der Entwicklung der direkt im Automobilbau Beschäftigten zeigt, dass die Unternehmen der einzelnen Wirtschaftsabteilungen unterschiedlich stark vom Beschäftigungsrückgang betroffen waren.

Abbildung 4: Entwicklung der im Fahrzeugbau sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Baden-Württemberg in den Jahren 2007 bis 2009

	2007	2008	2009	Diff. 07/09	07/09 in %	Diff. 08/09	08/09 in %
Kraftwagen, -motoren (Hersteller)	102.513	103.830	101.569	-944	-0,9	2.261	-2,2
Kraftfahrzeugteile (Zulieferer, soweit im „Fahrzeugbau“ er- fasst)	83.949	83.950	79.941	4.008	-4,8	4.009	-4,8
Karosserien, Anhän- ger	6.818	7.149	6.707	-111	-1,6	-442	-6,2
Automobilbau insg.	193.280	194.929	188.217	5.063	-2,6	6.712	-3,4
Sonstiger Fahrzeug- bau	8.816	9.107	9.396	580	6,6	289	3,2

Quelle: Statistik der Bundesagentur für Arbeit und IMU-Berechnungen

Von 2007 auf 2008 verzeichneten die Kfz-Hersteller ein leichtes Beschäftigungswachstum von 1,3 Prozent auf rund 103.800 Beschäftigte. Im Jahr 2009 ging die Zahl der Arbeitsplätze um rund 2.300 (-2,2 Prozent) auf 101.600 zurück. Bei den Zulieferern stagnierte die Beschäftigtenzahl bereits im Jahr 2008 und reduzierte sich im Jahr 2009 im Vergleich zu den Kfz-Herstellern stärker. Im Jahr 2009 waren bei den Zulieferunternehmen 4.000 Beschäftigte weniger tätig (-4,8 Prozent). Darin sind jedoch nicht Leiharbeiter enthalten; diese in der Krise in hohem Maße reduzierte Beschäftigtengruppe wird in der Statistik im Dienstleistungssektor erfasst unter „Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften“.

Die negative wirtschaftliche Entwicklung wird weiterhin bei den Beschäftigtenzahlen Spuren hinterlassen. Ein Hinweis auf die Beschäftigungsentwicklung in der aktuellen Krise bietet die Industriestatistik des Statistischen Landesamts.⁴ Im Januar 2009 waren in Baden-Württemberg 237 Betriebe (mit mindestens 50 Beschäftigten) im Automobilbau erfasst, in denen 201.287 Personen beschäftigt waren. Im Dezember 2009 waren

⁴ Die „Monatsberichte“ des Statistischen Landesamts beziehen sich auf Betriebe mit mindestens 50 tätigen Personen.

es noch 232 Unternehmen mit 192.889 Beschäftigten. Dies entspricht einem Arbeitsplatzrückgang von fast 8.400 Stellen (-4,2 Prozent).

2.3 Aktuelle wirtschaftliche Entwicklung des Automobilbaus

Die Unternehmen der Branche „Fahrzeugbau“ konnten in Baden-Württemberg ihre Umsätze bis ins Jahr bis ins Jahr 2007 auf 85,6 Milliarden Euro steigern, 1999 waren es noch weniger als 50 Milliarden Euro Umsatz im Fahrzeugbau. Im Jahr 2008 machten sich die ersten Auswirkungen der Wirtschaftskrise bemerkbar und es konnte lediglich ein Umsatz von 83,0 Milliarden Euro erzielt werden.

Die aktuelle wirtschaftliche Entwicklung der Branche „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“ lässt sich mit Hilfe der vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg veröffentlichten Indikatoren „Umsatzindex“ und „Auftragseingangsindex“ darstellen.

Abbildung 5: Umsätze im Automobilbau – Veränderungen beim Umsatzindex (Volumen) gegenüber dem jeweiligen Vorjahreszeitraum in Baden-Württemberg

	Gesamt	Inland	Ausland
Januar-Dezember 2009 zu Januar-Dezember 2008	-37,0 %	-25,7 %	-42,7 %
2008 zu 2007	-6,6 %	-4,2 %	-7,8 %
2007 zu 2006	2,9 %	1,0 %	3,8 %
Indexwert im Dezember 2009 (Basis 2005=100)	67,9	70,3	66,6

Quelle: Statistisches Landesamt und IMU-Berechnungen

Im Jahr 2009 verzeichnete der Automobilbau einen extremen Rückgang beim Umsatz um -37 Prozent. Diese erdrutschartigen Einbrüche sind besonders stark im Auslandsgeschäft spürbar, das um fast -43 Prozent zurückging, das Inlandsgeschäft reduzierte sich dagegen um knapp -26 Prozent. Auch die Produktion sank im Zeitraum Januar bis Dezember 2009 im Vergleich zum Vorjahreszeitraum um -25,5 Prozent.

Abbildung 6: Auftragseingänge im Automobilbau – Veränderungen des Auftragseingangsindex (Volumen) gegenüber dem jeweiligen Vorjahreszeitraum in Baden-Württemberg

	Gesamt	Inland	Ausland
Januar-Dezember 2009 zu Januar-Dezember 2008	-26,4 %	-22,3 %	-28,3 %
2008 zu 2007	-11,9 %	-11,0 %	-12,3 %
2007 zu 2006	4,3 %	4,2 %	4,4 %
Indexwert im Dezember 2009 (Basis 2005=100)	86,9	74,5	93,3

Quelle: Statistisches Landesamt und IMU-Berechnungen

Ebenso wie Umsätze und Produktion zeigen die Auftragseingänge als Frühindikatoren für die wirtschaftliche Entwicklung steil nach unten. Der Automobilbau in Baden-Württemberg verzeichnete im Jahr 2009 mit -26,4 Prozent enorme Rückgänge. Auch hier gingen die Aufträge aus dem Ausland mit -28,3 Prozent stärker zurück als die Inlandsaufträge mit -22,3 Prozent.

Gegenüber 2009 erholt sich der Automobilbau inzwischen. Im ersten Halbjahr 2010 legt die Branche „Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen“ beim Umsatz um 34,8 Prozent gegenüber dem Vorjahreszeitraum zu. Dieser Zuwachs resultiert im Wesentlichen aus einem starken Plus beim Auslandsumsatz, der um 53,1 Prozent steigt, während der Inlandsumsatz nur leicht um 8,7 Prozent zulegt. Ein boomender Markt ist der chinesische Markt für Premiumautos aus Baden-Württemberg. Entsprechend legt auch der Auftragseingang im ersten Halbjahr 2010 zu: Bei den Auslandsordern um 43,6 Prozent, bei den Inlandsordern um 14,7 Prozent und insgesamt um 33,2 Prozent.

3. Elektromobilität – zum Stand der Diskussion

3.1 Elektromobilität – Technologiebruch im Antriebsstrang

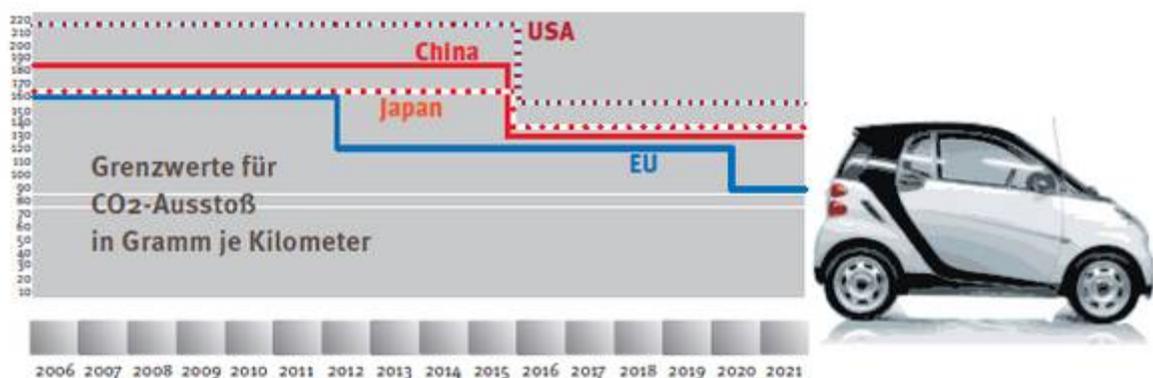
Im Zentrum der Innovationsdebatte der Automobilindustrie steht nach wie vor die regu-
lierungsbedingte Senkung von Emissionswerten (CO₂-Regulierung der EU), die

- durch weitere innermotorische Optimierungen der Verbrennungsmotoren (Diesel- und Benzinmotoren),
- durch alternative Antriebstechnologien (insbesondere Hybridkonzepte bislang vor allem bezogen auf Japan und Nordamerika, Einsatz des Startergenerators als sogenannter Mildhybrid sowie die Elektrifizierung des Antriebsstranges)
- aber auch durch Strategien zur Verringerung des Gewichts durch Einsatz von neuen Werkstoffen (Aluminium, Kunststoff, Magnesium, Kohlefaser)

erreicht werden sollen.

Die Festlegung von Grenzwerten für den Schadstoffausstoß für Fahrzeuge hat mit der Festlegung von Grenzwerten bis zum Jahr 2020 durch die EU-Kommission eine neue Dimension und Qualität erreicht. Abgasgrenzwerte sind auch für die anderen großen Weltautomobilmärkte festgelegt – jedoch für unterschiedliche Zeitpunkte und bislang zeitlich begrenzt auf die Perspektive bis 2015 / 2016. Während für die EU das Ziel 2020 eine CO₂-Reduzierung von 2006 aus in Höhe von -41 Prozent vorsieht, sind es in China bis 2015 -29 Prozent, in Japan -16 Prozent und in den USA -27 Prozent bis 2016. Damit ist das EU-Ziel das ambitionierteste Ziel im Vergleich der großen Märkte (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 7: CO₂-Grenzwerte für die großen Automobilmärkte



Quelle: Roland Berger 2009: 13; eigene Darstellung

Die festgelegten Grenzwerte stellen für die europäischen Akteure der Automobilindustrie eine erhebliche Herausforderung dar. Zentrale Stellgröße der Regulierung sind die CO₂-Werte, die für neu zugelassene Personenkraftwagen bis zum Jahr 2015 einen Wert von 120 Gramm CO₂ pro Kilometer⁵ im Flottendurchschnitt des jeweiligen Herstellers nicht überschreiten dürfen. Dieser Wert ist für das Jahr 2020 auf 95 Gramm weiter zu reduzieren. Gleichzeitig mit der Verordnung sind die Strafzahlungen bei Nichterreichen dieser Grenzwerte festgelegt worden. Angesichts eines EU-weiten Durchschnittsausstoßes von ca. 160 Gramm pro Kilometer (Stand des Jahres 2007) zeigt sich die Herausforderung, durch weitere Optimierung und alternative Antriebskonzepte die Ziele zu erreichen.

Eingebettet ist die EU-Regulierung sowie die damit verbundenen nationalen Politiken in die Weltklimadiskussion (Begrenzung der Erderwärmung)⁶, die gesamte Reduzierung des Schadstoffausstoßes und die Abkehr von der Nutzung fossiler Brennstoffe (Begrenztheit der Ölreserven).

Im Hinblick auf die EU-Regulierung, den Empfehlungen der Expertengruppe CARS21 (2008) und in Fortführung beziehungsweise Erweiterung der bisherigen Programme der Bundesregierung (nationales Programm Brennstoffzelle 2006⁷, Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie [Wasserstoff], Kraftstoff- und High-Tech-Strategie sowie Integriertes Energie- und Klimaprogramm [IPEK]) hat die Bundesregierung im November 2008 den nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität im Entwurf vorgelegt und auf einer nationalen Strategiekonferenz präsentiert und diskutieren lassen, um Vorschläge aus der Konferenz in die Weiterentwicklung des Plans mit aufzunehmen. Im Jahr 2009 wurden die ersten Zwischenschritte festgelegt und verabschiedet (siehe weiter unten).

Elektromobilität oder die Elektrifizierung des Antriebsstranges wird als zukunftssträchtige Technologie angesehen, in der Deutschland und die deutsche Industrie eine Vorreiterrolle übernehmen soll (Lead-Markt). Mit dem Entwicklungsplan wird das Ziel verfolgt, die Markteinführung von Elektrofahrzeugen voran zu bringen (Marktvorbereitung und

⁵ In obiger Abbildung ist für 2012 als Ziel 130 Gramm Grenzwert angegeben. Nach intensiven Verhandlungsprozessen zwischen Politik und Industrie hat man sich letztlich auf 120 Gramm Grenzwert als Ziel verständigt, allerdings können neben den antriebsbedingten Emissionen weitere Werte wie zum Beispiel Ökoinnovationen eingerechnet werden. Darüber hinaus gibt es spezifische Ausnahmen (Bagatell-Regelung) (DB Research 2009: 4).

⁶ siehe hier auch die schwierige Diskussion in Kopenhagen 2009 beim Weltklimagipfel, sich auf eine Begrenzung von 2 Grad Celsius zu verständigen und daraus die geeigneten Maßnahmen abzuleiten. „In einem „zur Kenntnis genommenen“ und völkerrechtlich nicht bindenden politischen Papier, dem Copenhagen Accord, ist das Ziel erwähnt, die Erderwärmung auf weniger als 2 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Konkrete Zielvorgaben zur Verringerung der Treibhausgasemissionen wurden nicht beschlossen. Nachdem ein Nachfolgeabkommen für das 2012 auslaufende Kyoto-Protokoll in Kopenhagen nicht beschlossen werden konnte, soll dies nun auf der 16. Vertragsstaatenkonferenz in Mexiko-Stadt vom 29. November bis 10. Dezember 2010 nachgeholt werden.“

⁷ im nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie vom 08. Mai 2006 ging es vor allem um den Einsatz von Brennstoffzellen für die stationäre (in Haushalt und Industrie) sowie mobile Anwendung für Fahrzeuge – als Reaktion darauf, dass die Brennstoffzellenproduktion vor allem außerhalb Europas stattfand. Mit der „Clean Energy Partnership“ / CEP wurde das größte Demonstrationsprojekt in Europa angestoßen (Projekt in Berlin). Mit der CEP war der Aufbau einer flächendeckenden H₂-Wirtschaft verbunden, die sich wiederum an der EU-Programmatik der European Hydrogen and Fuel Cells Technology Platform / HEP orientierte, die bis 2050 den Aufbau einer H₂-orientierten Wirtschaft vorsah.

Markteinführung) und insgesamt bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge im deutschen Fahrzeugbestand zu haben. In der weiteren Perspektive soll sich der Bestand bis 2030 auf fünf Millionen Fahrzeuge erhöhen und ab 2050 soll der Stadtverkehr ohne fossile Brennstoffe auskommen (BMW 2009: 21 ff).

Das CO₂-Reduktionspotenzial der E-Fahrzeuge wird in der folgenden Abbildung dargestellt. Danach würde ein E-Fahrzeug, das mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben wird, mit fünf Gramm pro Kilometer den mit Abstand geringsten CO₂-Ausstoß haben. Voraussetzung ist jedoch, dass der Strom aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Wie die folgende Abbildung deutlich macht, hat ein E-Fahrzeug unter den aktuellen Bedingungen der Stromquellen in Deutschland nur marginale Vorteile bei CO₂-Emissionen gegenüber einem effizienten Dieselmotor.

Abbildung 8: CO₂-Emissionen bei verschiedenen Energiepfaden



*1 = KBA, konventioneller Kraftstoff, *2 = Verbrauch 4l/100 km, konventioneller Kraftstoff, *3 = Strombedarf 18 kWh/100 km

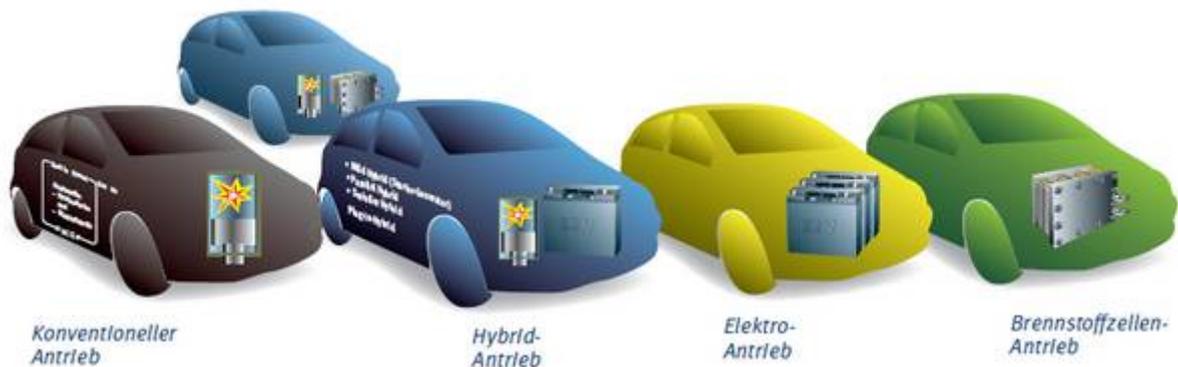
Quelle: BMU (Samson) 2009: 7; eigene Darstellung.

Dieses zentrale Innovationsfeld für die Automobilindustrie (CO₂-Reduktion) ist durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet. Es geht mittlerweile nicht mehr nur - wie in der Vergangenheit - um die Weiterentwicklung oder Erneuerung von Komponenten und Subsystemen, sondern um systemische Innovationen mit vielen Einzelaspekten und ihre Integration zu einer Problemlösung. „Systemisch“ bedeutet, dass die Innovationen nicht mehr nur neue Funktionalitäten in einzelnen Subsystemen des Fahrzeuges integrieren, sondern diese Subsysteme immer stärker miteinander vernetzt sind und starke Interdependenzen aufweisen.

3.2 Antriebskonzepte

In der folgenden Grafik sind zunächst die möglichen Entwicklungspfade im Bereich der Antriebe dargestellt, bevor es zur Erklärung des reinen Elektroantriebes als langfristigen und förderfähigem Entwicklungsziel kam:

Abbildung 9: Alternative Antriebskonzepte und Elektromobilität



Quelle: Eigene Zusammenstellung

3.2.1 Optimierung Verbrennungsmotoren

Die weitere Optimierung der Verbrennungsmotoren basiert im Kern auf der Verbesserung der Einspritzsysteme sowohl im Bereich der Benzin- wie der Dieselmotoren. So setzt zum Beispiel VW mit der TSI-Technologie beim Benzinmotor auf eine Benzindi-
rekteinspritzung in Verbindung mit einem Abgasturbolader (Doppelaufladung). Das Konzept der Aufladung ermöglicht zugleich eine Verkleinerung (Downsizing) der Motoren bei gleicher oder gar höherer Leistung, so dass der Verbrauch gesenkt wird. Im Jahr 2008 hat Bosch die vierte Generation der Common-Rail-Technologie für Dieselmotoren eingeführt, die statt bisher mit 2.000 jetzt mit 2.500 bar Druck arbeitet, um die Verbrennungsprozesse im Motor weiter zu verbessern und die Stickoxyd-Werte zu senken.⁸

⁸ Konkurrenten wie Siemens VDO und Magneti Marelli haben für die Entwicklung eines Einspritzsystems eine Kooperation gebildet, um ab 2007 Einspritzsysteme für kleinere Dieselmotoren auf Magnetventilbasis herzustellen und zu vermarkten.

Scuderi-Motor

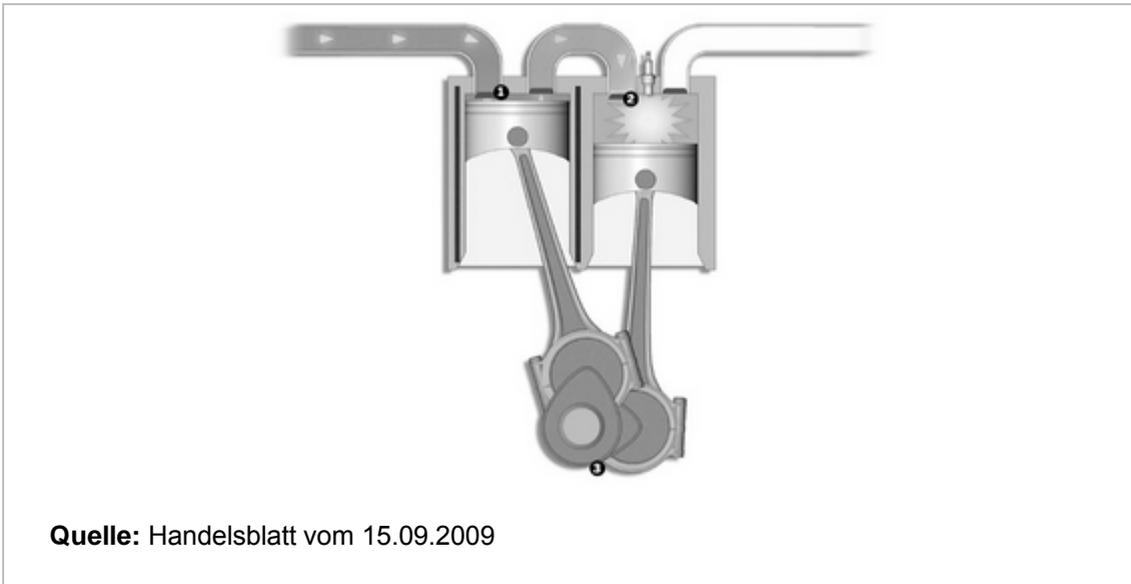
Ein neues Konzept für den Verbrennungsmotor stellt die Entwicklung des Scuderi-Motors dar, der – präsentiert als Prototyp auf der IAA 2009 – erhebliche Kraftstoff- und damit Emissionseinsparungen verspricht. Bei diesem Konzept könnte es sich um eine radikale oder disruptive Innovation handeln, wenn es sich im Markt durchsetzt.

Der entscheidende Unterschied zum herkömmlichen Verbrennungsmotor: Die vier Takte eines üblichen Verbrennungsmotors finden nicht in einem einzigen Zylinder statt, sondern werden auf jeweils zwei gepaarte Zylinder aufgeteilt. Durch die Trennung können beide Zylinder optimal ausgelegt werden, so dass vor allem mit drastisch höheren Drucken gearbeitet wird: Der Druck im Verdichtungszyylinder erreicht 50 bar. Ottomotoren mit Direkteinspritzung erreichen allenfalls 3 bar. Der Effekt: Die extrem verdichtete Luft kann, sowie sie in den zweiten Zylinder gelangt ist, nach dem oberen Totpunkt des Kolbens gezündet werden (siehe Prinzip-Skizze unten). Vorteil: Das spart Kraftstoff, denn bei üblichen Motoren muss sich der Kolben ein kleines Stück gegen den explodierenden Gasdruck stemmen, was Energie kostet.

Nach Angaben des US-Unternehmens ist eine bis zu 50prozentige Effizienzsteigerung gegenüber konventionellen Verbrennungsmotoren zu erwarten. Die Reduktion der CO₂-Emissionen liege auf dem gleichen Niveau. Nachdem die Verbrennung insgesamt optimaler verläuft, blieben bis zu 80 Prozent weniger Stickoxide übrig.

Scuderi setzt vor allem darauf, Lizenzen an Motorenhersteller zu vergeben, da das Know-how für diesen Split-Cycle-Motor durch mehr als 200 Patente abgesichert ist. Um den Scuderi-Motor zur Serienreife zu bringen, wurden mit Bosch Engineering (Einspritzsystem), Mahle (Kolben) und Schaeffler (Ventilantriebssystem) namhafte deutsche Zulieferer in den Entwicklungsprozess einbezogen. Scuderi ist ein reines Entwicklungsunternehmen, in dem 70 Ingenieure in der Motorenentwicklung und am Split-Cycle-Prinzip arbeiten.

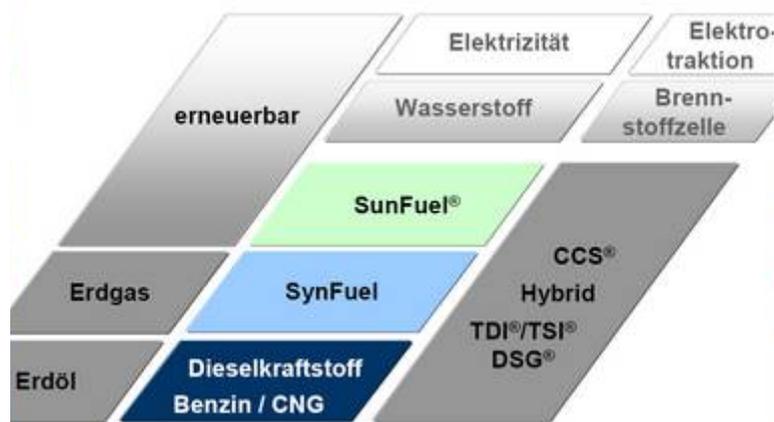
Prinzip-Skizze Split-Cycle-Motor von Scuderi:



Technologische Entwicklungspfade bei Verbrennungsmotoren sind – neben Downsizing – der gasbetriebene Motor, der HCCI-Motor sowie der Wasserstoffverbrennungsmotor.

- Gasbetriebene Motoren sind schon länger im Markt, verharren jedoch bislang in einer Nische, wenn auch die Nach- beziehungsweise Umrüstung in den letzten Jahren ölpreis- und regulationsbedingt deutlich zugenommen hat.
- Erst im Stadium eines Prototyps befindet sich ein Verbrennungsmotor, der die besten Eigenschaften von Benzin- und Dieselmotor („Otto-Diesel“) vereint und das Kürzel HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) trägt. Problematisch für eine Marktdurchdringung ist aus heutiger Sicht, dass die homogene Verbrennung hohe Ansprüche an den Kraftstoff stellt und dass es im Prinzip einer Co-Entwicklung bei Kraftstoffen hin zu synthetischem Kraftstoff (sogenannte Designer-Kraftstoffe) bedarf.
- Der Wasserstoffmotor ist ein Konzept, das bislang von BMW verfolgt wurde, da das Unternehmen im Entwicklungspfad der Brennstoffzelle keine Lösung für die geforderten Fahrdynamikanforderungen sah. Seit 2007 befindet sich der „Hydrogen 7“ im Test – ausgewählten Test-Kunden wurden Fahrzeuge zur Verfügung gestellt. Im Zusammenhang mit der sich abzeichnenden Pfadentwicklung in Richtung Elektroantrieb wurde das Konzept von BMW im Jahre 2009 aufgegeben (Handelsblatt vom 07.12.2009).

Abbildung 10: VW – Antriebs- und Kraftstoffstrategie



CCS = Combined Combustion System (HCCI oder DiesOtto); TDI = Dieselmotoren mit Direkteinspritzung und Turboaufladung; TSI = Twincharged Stratified Injection (Benzinmotoren mit Direkteinspritzung und Turboaufladung); DSG = Doppelkupplungsgetriebe; CNG = Compressed Natural Gas, komprimiertes Erdgas

Quelle: Volkswagen (Steiger 2009) (Ausschnitt)

Im Hinblick auf die Entwicklung im Bereich der Kraftstoffe stehen – neben der Beimischung von Bio-Kraftstoffen – Kombinationen von Kraftstofftypen und Motoren auf dem Entwicklungspfad von Antriebstechnologien. Die Entwicklung sowie der Einsatz von synthetischen Kraftstoffen (sogenannte syn fuels) und von Bio-Kraftstoffen der zweiten Generation⁹ (sogenannte sun fuels) überbrücken die Zeit auf dem Weg zum Elektroantrieb und zur Brennstoffzelle (Steiger 2008: 3).

3.2.2 Hybridantriebe

Der Hybridantrieb ist ein von europäischen Automobilunternehmen¹⁰ lange vernachlässigtes Thema – hier wird nun angesichts des Vorsprungs und Erfolges insbesondere von Toyota auf dem japanischen und nordamerikanischen Markt von verschiedenen Kooperationen versucht, Technikentwicklung nach- und aufzuholen.

⁹ Bio-Kraftstoffe der zweiten Generation werden aus Biomasse gewonnen und gehen nicht zu Lasten von Nahrungsmitteln, wie dies bei Bio-Kraftstoffen der ersten Generation der Fall ist.

¹⁰ PSA hat – im Gegensatz zu allen anderen Akteuren – im Jahr 2006 den Dieselhybrid als Kombination von Diesel- und Elektromotor für den Pkw-Antrieb ins Spiel gebracht und musste sich heftige Kritik der Wettbewerber gefallen lassen, da kaum vorstellbar wäre, dass solch ein Antriebssystem aus Kostengründen am Markt absetzbar sei, da nicht nur der zusätzliche Elektroantrieb sowie die gesamte Motorsteuerung Kosten verursache, sondern auch der Dieselmotor deutlich teurer als der Benzinmotor sei.

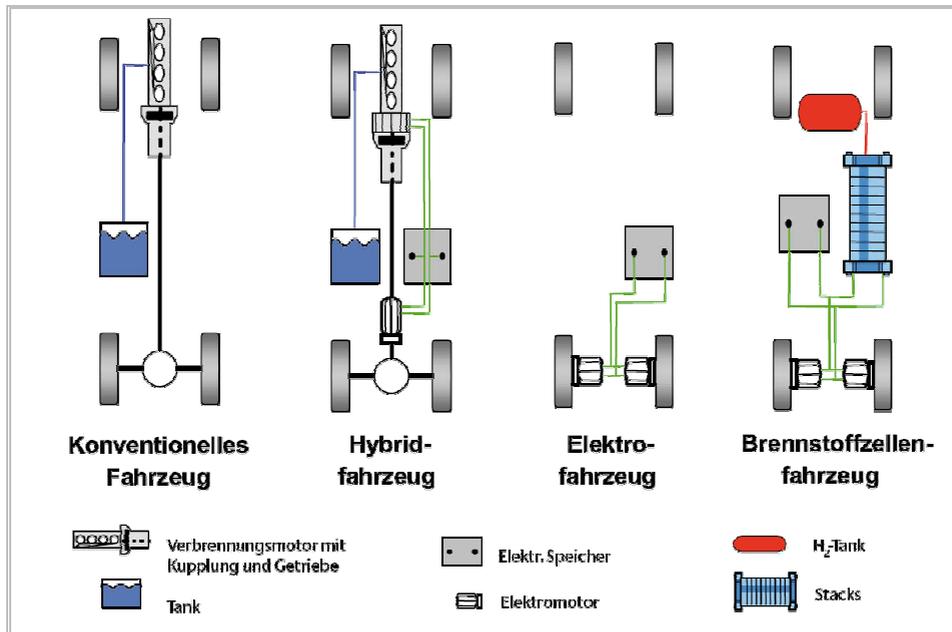
- So hatten GM, DaimlerChrysler und BMW im Jahr 2005 eine Entwicklungsallianz (Global Hybrid Cooperation) zur Entwicklung eines leistungsverzweigten Hybridantriebes gegründet und entwickelten bis 2008 in Troy / Michigan mit 500 Ingenieuren gemeinsam die Systemkomponenten, die Leistungselektronik und die Peripherie.¹¹
- Die Allianz aus VW / Audi und Porsche entwickeln demgegenüber gemeinsam an einem Parallelhybridantrieb, bei dem das Getriebe unverändert bleibt und sowohl Verbrennungs- als auch Elektromotor das Fahrzeug antreiben können.
- Auf der Zulieferseite haben sich Continental Automotive Systems (CAS) und ZF zusammen getan, um gemeinsam ab 2007 in jeweiliger Kooperation mit einem Endhersteller Parallelhybrid-Lösungen anzubieten. In der schwächsten Ausprägung des Hybridantriebes, dem sogenannten Mildhybrid, kommt der in den Antriebsstrang zu integrierende Startergenerator zunehmend in die Diskussion.¹² Anbieter wie ZF Sachs, Continental ISAD oder Valeo gehen davon aus, dass angesichts des Energiebedarfes von neuen Fahrzeugen und dem schwachen Energiespeicher (Batterie) neben dem Argument der Kraftstoffersparnis vor allem die stop-and-go-Funktion wie auch die Rückgewinnung der Bremsenergie (Rekuperation) für die breite Markteinführung des Mildhybrids sprechen.

Die Elektrifizierung des Antriebes ist seit Ende 2008 der zentrale Diskussionspunkt in der Branche. Nahezu alle Hersteller und Zulieferer thematisieren Elektrofahrzeuge („E-Drive“) als das zukünftige Konzept für den Antriebsstrang, obwohl für einen reinen Elektroantrieb noch viele technische Probleme zu lösen sind. Größter Engpass sind die notwendigen Batterien (Energiespeicher), die zur Zeit von der Speicherkapazität, vom Gewicht her und von den Kosten noch nicht für die **Serien- / Massenproduktion** von Fahrzeugen einsetzbar sind. Nicht zuletzt steht unter ökologischen Gesichtspunkten die Notwendigkeit, dass der Strom, mit dem das Fahrzeug betrieben wird, aus regenerativen Quellen stammt. Bisher verfügbare E-Drive-Technologien erlauben nur eingeschränkte Aktionsradien und befinden sich im Versuchsstadium und sind in Testfahrzeugen verbaut. Hierauf wird in späteren Abschnitten näher eingegangen.

¹¹ Diese Entwicklungsallianz ist 2009 beendet worden – die Daimler-Ingenieure sind wieder nach Baden-Württemberg zurückgekehrt.

¹² Mit dem Startergenerator entfallen Anlasser und Lichtmaschine. In der noch kleineren elektrischen Unterstützung des Verbrennungsmotors, dem sogenannten micro-hybrid, ist die Realisierung der start-stop-Funktion möglich. Das heißt im Stand wird der Verbrennungsmotor abgeschaltet - sobald wieder gefahren werden soll, wird er wieder gestartet.
Beim sogenannten full-hybrid ist der Energiespeicher so groß ausgelegt, dass über kürzere Strecken (ca. 20 Kilometer) rein elektrisch gefahren werden kann.

Abbildung 11: Prinzipien der Antriebskonzepte



Quelle: BMWi 11-2009: 22

Als Zwischenschritt und zur Erweiterung des begrenzten Aktionsradius wird die Kombination von Elektro- und Verbrennungsmotor angesehen, wobei ein kleindimensionierter Verbrennungsmotor nur noch die Funktion hat, die Batterien zu laden (sogenannter Range Extender).¹³ Dem „Plug-in“-Konzept, das die Aufladung der Batterien an der Steckdose vorsieht, werden die größten Marktchancen zugebilligt, wozu jedoch noch ein erheblicher Aufwand im infrastrukturellen Bereich notwendig wäre (DB Research 2009: 11, VDA 2009: 5).

3.2.3 Neue Akteure der Automobilindustrie

Mit der Entwicklung hin zur Elektromobilität könnten für die Automobilindustrie bislang branchenfremde Akteure eine Schlüsselrolle spielen.

„Einige sehen große Chancen für die Branche, für andere ist das Elektroauto ein trojanisches Pferd“ (Handelsblatt, 03.07.2009 – Elektroauto: Fahrt ins Ungewisse).

Aus Sicht der Stromanbieter lässt sich aus heutiger Sicht der Energiemix zugunsten regenerativer Anteile nicht soweit verändern, dass eine Stromversorgung für den Elektroantrieb in größerem Umfang ökologisch verträglicher wäre. Es fehlt an dezentralen Speicherkapazitäten, die nur mit hohem Investitionsaufwand zur Verfügung stünden. Die Bereitstellung von Speichern würde sich daher erst bei einer breiteren Elektrifizie-

¹³ Nach diesem Konzept ist beispielsweise der Opel Ampera, der auf dem Genfer Automobilsalon 2009 vorgestellt wurde, ausgerüstet.

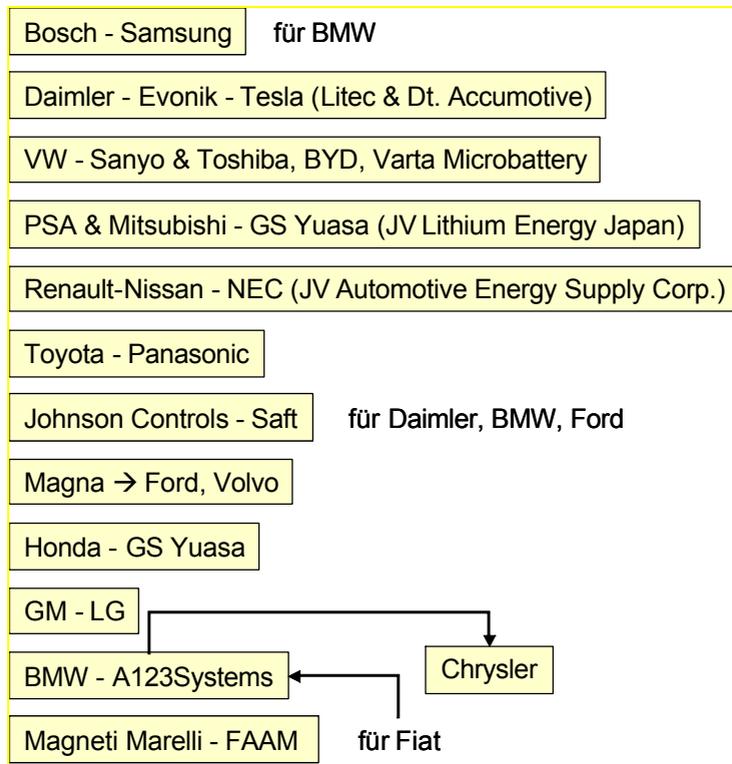
rung der Fahrzeugantriebe lohnen – aus diesem Grunde besteht ein hohes Eigeninteresse der Stromanbieter, die Elektrifizierung des Fahrzeugantriebes zu forcieren. Andererseits wird von den Stromanbietern auch betont, dass der Betrieb von einer Million E-Fahrzeugen in Deutschland problemlos mit dem vorhandenen Stromangebot zu bewältigen sei. Der bis 2020 erzielbare Anteil an regenerativer Energiegewinnung würde ausreichen, auf der Stromerzeugerseite dem Ziel der emissionsfreien Nutzung sehr nahe zu kommen.

Industriepolitisch wurde die Elektrifizierung des Antriebsstranges durch den Beschluss des deutsch-französischen Ministerrats (2009), der die Allianz von 20 Fahrzeugherstellern und Energieversorgern¹⁴ zur flächendeckenden Einführung von Elektroautos unterstützt. Ziel ist die Schaffung von De-facto-Standards sowie die Zusammenarbeit bei der Entwicklung von umweltschonenden Autoantrieben (Handelsblatt vom 11.03.2009).

Vor dem Hintergrund der Diskussion um die Elektrifizierung des Antriebsstranges und angesichts der industriepolitischen Signale wurden im Jahr 2008 eine Vielzahl von Entwicklungskooperationen (zum Teil als Gemeinschaftsunternehmen) zur Batterietechnologie gebildet (siehe folgende Übersicht).

¹⁴ An dieser Allianz will auch ein Branchenneuling mitwirken, der in verschiedenen Ländern bereits begonnen hat, eine Versorgungsinfrastruktur für automobiler Stromversorgung aufzubauen: Better Place, ein Start-up, das den Aufbau von Lade- und Wechselstationen in Kooperation mit Nationalstaaten vorantreibt.

Abbildung 12: Batterie-Kooperationen



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis Handelsblatt vom 30.09.2009

Die Akteure der Automobilindustrie, sowohl Hersteller wie Zulieferer, verfügen bislang nur in eingeschränkter Maße über Technologie-Know-how im Hinblick auf neuere Batteriesysteme (insbesondere Lithium-Ionen-Akkumulatoren). Vor allem die asiatischen Hersteller von Unterhaltungselektronik verfügen über dieses Know-how – allerdings überwiegend für den Bereich der nicht-automobilen Anwendung. Mit den oben genannten Kooperationen erhalten bislang branchenfremde Akteure einen zentralen Stellenwert für die zukünftige Entwicklung im Antriebsstrang – insofern ist die eingangs des Abschnitts zitierte Frage nach dem Charakter des Elektrofahrzeuges als Chance oder trojanisches Pferd durchaus berechtigt.

Diese hier nur verkürzt darstellbare Vielfalt möglicher Entwicklungspfade im Antriebsstrang birgt hohe Unsicherheiten in Bezug auf den oder die einzuschlagenden Wege, die jeweils mit hohen Aufwendungen verbunden sind. Angesichts begrenzter Ressourcen sehen sich die Akteure der Automobilindustrie mit der Qual der Wahl konfrontiert und laufen prinzipiell Gefahr, in den falschen Entwicklungspfad zu investieren. Gleichzeitig gilt es, sich die Optionen für mehrere Pfade offen zu halten. Optionen können durch Kooperationen und strategische Allianzen, durch Entwicklungspartnerschaften wie beispielsweise in der Batterietechnologieentwicklung, aber sicherlich nicht durch ausschließlich eigene finanzielle und eigene Kompetenzressourcen offen gehalten werden.

3.2.4 Brennstoffzellen-Antriebe

Als DaimlerChrysler am 7. November 2000 in Berlin seine Brennstoffzellenfahrzeuge vorstellte, wurde der technologische Stand des Brennstoffzellenantriebes als „einsatztauglich“ deklariert. Zwischenzeitlich ist eine deutliche Ernüchterung eingetreten, da die Kosten dieses Antriebes noch weit von der Wettbewerbsfähigkeit entfernt sind und die Frage der Infrastruktur (Tankstellennetz) nach wie vor ungeklärt ist. Ob und in wie weit der Brennstoffzellenantrieb als Alternative beziehungsweise Ergänzung der Elektromobilität einen neuen Entwicklungsschub erhält, ist aus heutiger Sicht noch mit einem großen Fragezeichen behaftet (Jürgens / Meißner 2005).

Die Antriebskonfiguration für Brennstoffzellenfahrzeuge besteht aus drei zentralen Subsystemen:

- der eigentlichen Brennstoffzelle als Stromerzeuger,
- dem Kraftstoffspeicher beziehungsweise dem (heute noch notwendigen) Reformersmodul sowie
- dem Elektroantriebsaggregat.

Die erste Basiskomponente ist die Brennstoffzelle selbst. Die Brennstoffzelle ist eine aus einzelnen Paketen (stacks) zusammengesetzte Stromerzeugungseinheit. Die einzelnen Pakete wiederum bestehen aus zwei Bipolarplatten mit Kanälen für Wasserstoff und Sauerstoff und sind mit einer Katalysatorenfolie beschichtet. Zwischen die Bipolarplatten wird die protonenleitende Membran montiert, die reinen Wasserstoff und Wasser voneinander trennt.

Die zweite Basiskomponente ist der Kraftstoffspeicher beziehungsweise der Reformer für die Aufbereitung des Ausgangskraftstoffs zu Wasserstoff. Für reinen Wasserstoff existiert bisher keine „Speicherlösung“, um für einen normalen Tankzyklus in ausreichendem Maße reinen Wasserstoff im Fahrzeug bereitzuhalten.

Die Alternative für das Tanken reinen Wasserstoffs besteht im Einsatz eines Reformers, der einen wasserstoffreichen Kraftstoff in Wasserstoff umwandelt - sei es Methanol, Ethanol oder auch Benzin. Der Wasserstoff für die Brennstoffzellen wird somit direkt an Bord in einer Gaserzeugungsanlage, dem sogenannten „Reformer“, aufwändig erst hergestellt.¹⁵

Die dritte Basiskomponente ist das Elektroantriebsaggregat. Dieses wiederum besteht aus mindestens vier Hauptelementen: dem Elektromotor, einem Gleichspannungswandler, einem Wechselrichter und dem Transmissionssystem sowie einer Batterie oder einem „ultra capacitor“ für die Energiespeicherung.

¹⁵ Dabei geht es im Wesentlichen um die Regelung des Wärmekreislaufs sowie der Luftströmungen zur und durch die Brennstoffzelle. Die Komponenten eines „Reformers“ haben große Ähnlichkeit mit bereits in der Peripherie von Verbrennungsmotoren eingesetzten Aggregaten wie Luftbefeuchter, Luftvorwärmer, Kompressoren und Expandern sowie Dosierpumpen. Weitere Komponenten betreffen den Verdampfer oder katalytischen Brenner.

Eine umfassende Analyse über Beschäftigungs- und Strukturwirkungen der Einführung eines Brennstoffzellenantriebes für Baden-Württemberg wurde von einem Institutsverbund unter Leitung des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung 1999 durchgeführt (Wengel / Schirrmeister 2000).¹⁶ Erhebliche Strukturwirkungen ergeben sich aus der unterschiedlichen Komponenten- und Wertschöpfungsstruktur des Brennstoffzellenantriebes im Vergleich zum klassischen Verbrennungsmotor. Die Kosten des Brennstoffzellenantriebes verteilen sich auf wenige teure Komponenten, die zu Systemkomponenten zusammengefasst werden können. Die Entscheidung, wo die drei wichtigsten Systemkomponenten Brennstoffzellen-Stack, Gaserzeuger und Elektromotor gefertigt werden, hat deshalb wichtige Folgen für die regionale Zulieferstruktur. Aufgrund des modularen Aufbaus des Brennstoffzellenantriebes reduziert sich der Aufwand bei der Endmontage und steigt der Wertschöpfungsanteil der Komponentenherstellung.

Zusammenfassend sieht die Studie unter optimistischen Annahmen durchaus positive Effekte im Hinblick auf das Beschäftigungsniveau. Einher gehen mit einem Wechsel vom Verbrennungsmotor zum Brennstoffzellenantrieb aber drastische Verschiebungen im Verhältnis der Branchen, der Unternehmenstypen und innerhalb der regionalen Wirtschaftsstrukturen. Die grundlegenden Annahmen (die Produktion von 200.000 Brennstoffzellenfahrzeugen) erscheinen wenige Jahre nach Erscheinen der Studie so unrealistisch, dass das Szenario Jahre weiter in die Zukunft hinauschieben muss.

Angestoßen durch die Ergebnisse der ISI-Untersuchung, die in nicht sehr ferner Zukunft industrielle Strukturveränderungen für die stark automobilorientierte Wirtschaft Baden-Württembergs erwarten ließ, wurden in kurzer Zeit Kooperationsstrukturen auf regionaler Ebene geschaffen, damit sich Forschung, Wissenschaft, Politik und Unternehmen frühzeitig auf Veränderungen einstellen können. Mit Symposien, der Einrichtung von Anlaufpunkten für Unternehmen, der Schaffung von Kooperationszusammenhängen zwischen Universitäten, wissenschaftlichen Einrichtungen und Unternehmen unter Einbeziehung von staatlicher Wirtschaftsförderung wird das Thema Brennstoffzelle im Land Baden-Württemberg in der tagespolitischen Diskussion gehalten (www.forum-brennstoffzelle.de).

Der Leiter der Wirtschaftsförderung der Region Stuttgart wies auf einer Tagung im Oktober 2003 in Stuttgart darauf hin, dass 70 Prozent aller europäischen Brennstoffzellen-Projekte in Deutschland und 50 Prozent der in diesen Projekten aufgewendeten Arbeitskraft im Raum Baden-Württemberg beheimatet sind (Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH, Pressemitteilung vom Oktober 2003; siehe auch www.f-cell.de).

„Die beiden Technologien ergänzen sich und gehören, anders als häufig dargestellt, zusammen“, erklären die Veranstalter. f-cell bildet damit einen Trend in der Branche ab, nicht Brennstoffzellenfahrzeuge alleine sondern Elektromobilität insgesamt in den Blick zu nehmen: „Die Zeiten eines einzigen Antriebskonzepts für alle Anwendungen, für Pkw auf Kurz- und Langstrecken, für LKW und Busse, sind endgültig vorbei. Künftig wird es verschiedene Lösungen nebeneinander geben“, sagt Dr.

¹⁶ Desweiteren wurden Studien zur Auswirkung auf die Zulieferstruktur in Nordrhein-Westfalen (Schirrmeister u.a. 2002) sowie Sachsen (Richter/Reichelt 2005) veröffentlicht.

Klaus Bonhoff, Vorsitzender der Geschäftsführung der NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in Berlin. Folgerichtig koordiniert die NOW nicht nur die Umsetzung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, sondern auch die des Programms Modellregionen Elektromobilität des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Presseinformation f-cell, 11.03.2010).

Wenn es auch um Brennstoffzellen-Fahrzeuge in den letzten Jahren nach Fehlschlägen bei der Ankündigungspolitik etwas ruhiger geworden ist, wird weiterhin rund um die mobile Anwendung der Brennstoffzelle geforscht und entwickelt. Das Kompetenzzentrum Brennstoffzelle in Stuttgart und Kirchheim / Teck – mittlerweile mit der Brennstoffzellen-Initiative Baden-Württemberg zur Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg fusioniert – dient als Informations- und Kommunikationsplattform (Dispan u.a. 2009: 206).

Sukzessive, in kleinen Schritten, rückt die Kommerzialisierung der Brennstoffzelle näher. Ein bedeutender Forschungsstandort befindet sich in der Region Stuttgart im Industriepark Kirchheim-Nabern. Mitte 2009 arbeiteten dort gut 350 Stammarbeitskräfte im Bereich Brennstoffzellen- und Batterie-Antriebsentwicklung bei Daimler und bei NuCellSys. Für Daimler ist die Brennstoffzelle die Schlüsseltechnologie für eine von fossilen Kraftstoffen unabhängige Mobilität. Nach dem Ausstieg von Ford¹⁷ aus dem Joint-Venture NuCellSys Mitte 2009 führt Daimler die Forschungsprojekte mit verringertem Budget weiter und baut rund ein Drittel der Arbeitsplätze ab (Dispan u.a. 2009: 212 f.).

Bei gleichzeitig sehr geringer Nachfrage ist eine umfassende Infrastrukturabdeckung bis 2020 eher unwahrscheinlich. Gleichwohl ist für Deutschland ein Projekt anvisiert, 1.000 Tankstellen für Wasserstoff aufzubauen.¹⁸ Die Kosten von rund zwei Milliarden Euro würden über zehn Jahre hinweg zur Hälfte vom Staat finanziert, zur Hälfte von Ölkonzernen und Automobilherstellern.

Auch die (Groß-)Serienfertigung von Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeugen rückt entsprechend der Daimler Roadmap näher: Start der Kleinserienproduktion der B-Klasse F-CELL und des Smart for two electric drive ist im Jahr 2009. Der Elektro-Smart soll ab 2012 in größeren Stückzahlen produziert werden, bei der Brennstoffzellen-B-Klasse sind ab 2015 Stückzahlen von 100.000 geplant – vorbehaltlich der Lösung des Infrastrukturproblems (Dispan u.a. 2009: 218-223).

Im Hinblick auf die Marktvorbereitung des Brennstoffzellenantriebes beteiligt sich Daimler an verschiedensten Projekten von Flottenerprobungen weltweit (siehe folgende Abbildung).

¹⁷ Ford begründet seinen Ausstieg damit, dass die Brennstoffzellen-Forschung sehr langfristig angelegt ist und die Ressourcen stärker auf zeitnähere Technologien konzentriert werden sollen.

¹⁸ Im September 2009 unterzeichnete ein Konsortium von Autobauern, Ölkonzernen und Stromversorgern eine Kooperationsvereinbarung, die den flächendeckenden Aufbau von Wasserstofftankstellen vorantreiben soll.

Abbildung 13: Flottenerprobung zur Marktvorbereitung

- Daimler ist Pionier bei der Entwicklung der Brennstoffzelle und besitzt langjährige Erfahrung (seit 1994)
- Weltweiter Flottenbetrieb unterschiedlicher Fahrzeuge in Demoprojekten
- Motivation zu H₂-Infrastruktur



Quelle: Daimler / J. Wind, 29.09.2009: 10

Entsprechend der oben genannten Roadmap befindet sich Daimler im Jahr 2009 im Bereich der Pkw-Brennstoffzellen in der zweiten Generation, gekennzeichnet durch die Schaffung von Kundenakzeptanz. Erst die fünfte Generation (ab dem Jahr 2020) sieht eine Massenproduktion vor, in der die Kosten des Antriebes sowie die Infrastruktur als tauglich für die Serienherstellung eingeschätzt werden (Wind 2009: 11).

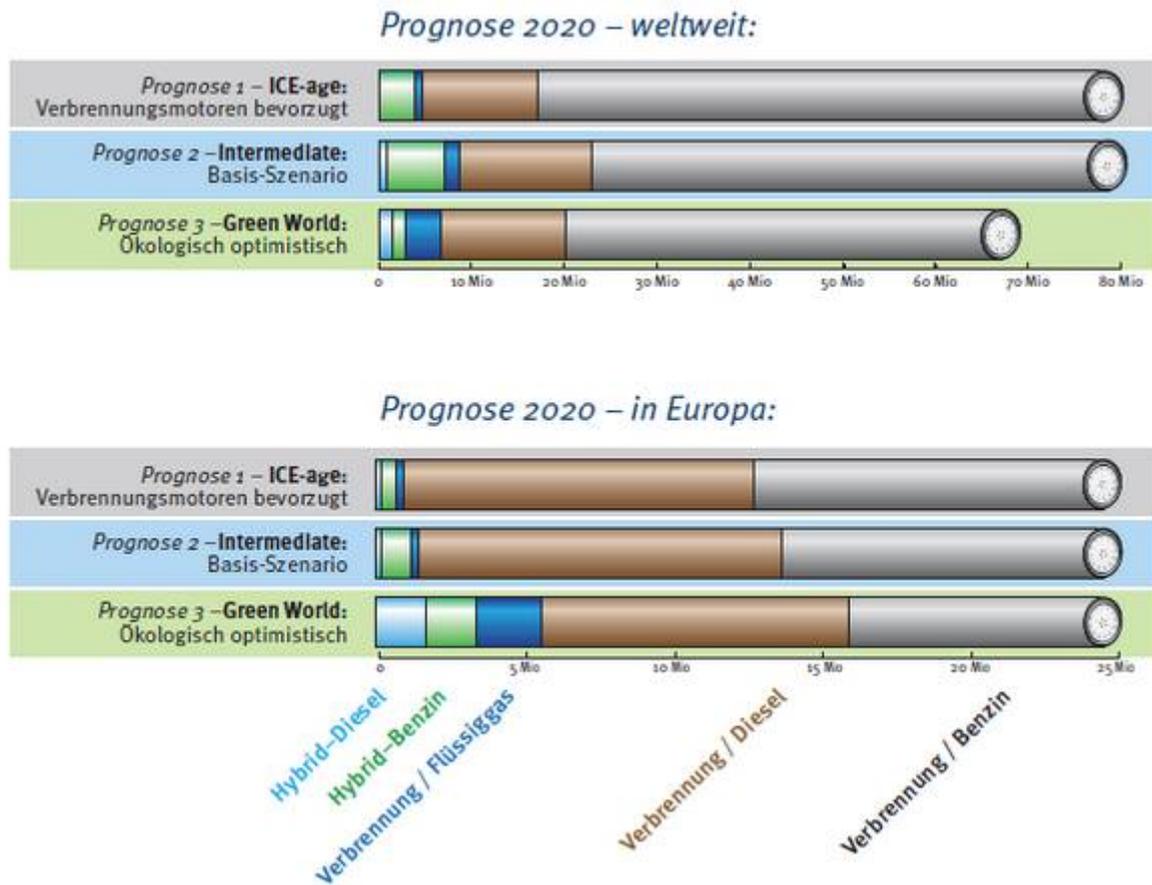
3.3 Prognosen der Verteilung verschiedener Antriebsstränge im Markt

Insbesondere internationale Beratungsunternehmen haben in den letzten zwei Jahren Prognosen und Erwartungen zur Marktentwicklung der verschiedenen Antriebsstränge vorgelegt. Da nahezu jede Studie unterschiedliche Zeithorizonte betrachtet, verschiedene Szenarienbedingungen zugrunde legt, gegebenenfalls unterschiedliche Teilmärkte betrachtet, ist ein verlässlicher Vergleich kaum möglich. Insofern können hier nur grob die Einschätzungen wiedergegeben werden, um einen Überblick zu den Erwartungen zu haben – vorweggenommen sei: Alle Prognosen und Einschätzungen haben gemeinsam, dass der Trend zur Elektrifizierung des Antriebsstranges eindeutig ist. Rein elektrisches Fahren bleibt jedoch bei den Neuzulassungen bis ins Jahr 2025 / 2030 noch im einstelligen Bereich der Weltmarktanteile.

McKinsey

In der Studie „DRIVE“ aus dem Jahr 2006 untersucht McKinsey die Perspektiven bestehender und alternativer Antriebskonzepte. Hinterlegt sind drei Szenarien (Basisszenario (intermediate), „Grüne Welt“ (Green world), und Verbrennungsmotor „ICE age“), die mit den Variablen Ölpreis und Abgassteuern arbeiten. ICE steht dabei für „internal combustion engine“ (= Verbrennungsmotor). Die Perspektive bezieht sich auf das Jahr 2020.

Abbildung 14: Prognose für 2020 zu Antrieben in Einheiten nach drei Szenarien



Quelle: McKinsey 2006:9; 10; eigene Darstellung

Bei einem weltweiten Absatz von 78,4 Millionen Fahrzeugen ergibt sich das in der Abbildung dargestellte Bild. Verbrennungsmotoren („ICE“) dominieren in allen drei Szenarien noch den Antriebsstrang – selbst im Green world Szenario mit einem Anteil von 77 Prozent. Bezogen auf Europa (21,5 Millionen Fahrzeuge) wird der Anteil der Verbrennungsmotoren ebenfalls auf 77 Prozent in diesem Szenario geschätzt.

Im Fokus der Alternativen stand zum Zeitpunkt (2006) der Studie ein Plug-in-Hybrid – der rein elektrische Antrieb war noch nicht in Sicht. Die zusätzlichen Kosten für die Plug-in-Komponenten im Vergleich zum Hybrid-Antrieb werden auf der Basis 2005 mit +2.900 Euro gerechnet, die sich jedoch bis 2020 auf 1.450 Euro reduzieren sollen.¹⁹

¹⁹ davon zusätzliche Kosten für größere Batterie = 2.200 Euro; für größeren E-Motor = 400 Euro; für Elektronik, Powermanagement und Kabel = 300 Euro.

Als Schlussfolgerung wird – auf Basis einer Nutzerbetrachtung und entsprechender Kostenunterschiede – darauf verwiesen, dass ein Durchbruch der Plug-in-Antriebe nur zu erwarten ist, wenn zusätzliche regulatorische Maßnahmen ergriffen werden, wenn die Preise sinken und die Technologie weiter entwickelt wird.

Im Jahr 2009 (McKinsey 2009:1) ging die Unternehmensberatung davon aus, dass ein Plug-in-Hybrid mit 100 Meilen Reichweite im Jahr 2015 den Käufer gut 24.000 Dollar mehr kosten wird als ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor.

Um die EU-Grenzwerte einhalten zu können, müssen nach Einschätzung von McKinsey die deutschen Hersteller bis 2020 29 Milliarden Euro mehr an Forschung und Entwicklung sowie 85 Milliarden Euro mehr an Produktionskosten aufwenden (Tagesspiegel vom 10.11.2009).

Oliver Wyman

Die Consultants von Oliver Wyman (2009) gehen in ihrer Studie „Elektromobilität 2025“ davon aus, dass der Marktanteil von reinen E-Fahrzeugen bei etwa 3 Prozent liegen wird. Die Mehrkosten für E-Fahrzeuge (Golf-Klasse) würden aus Sicht des Jahres 2009 bei 20.000 Euro liegen. Weltweit werden die Investitionen in FuE in diesem Jahrzehnt (2010-2020) zur Emissionsreduzierung 300 Milliarden Euro ausmachen – davon werden 50 Milliarden Euro auf die Entwicklung von alternativen Antrieben entfallen.

Für 2025 wird ein Absatz von 3,2 Millionen E-Fahrzeugen erwartet (damit läge der Bestand von E-Fahrzeugen bei 15 Millionen oder 1,5 Prozent des Gesamtbestandes). Mild- oder Vollhybride erreichen zusammen einen Marktanteil von 9 Prozent; Plug-in-Hybride 3,5 Prozent.

Der neu entstehende Weltmarkt für Komponenten für E-Fahrzeuge wird auf 80 Milliarden Euro im Jahr 2025 geschätzt (Lithium-Ionen-Batterien, E-Maschinen, Hochvolt-Leistungselektronik) – dies entspricht etwa 7 Prozent der gesamten Wertschöpfung im Komponentenbereich.

Roland Berger

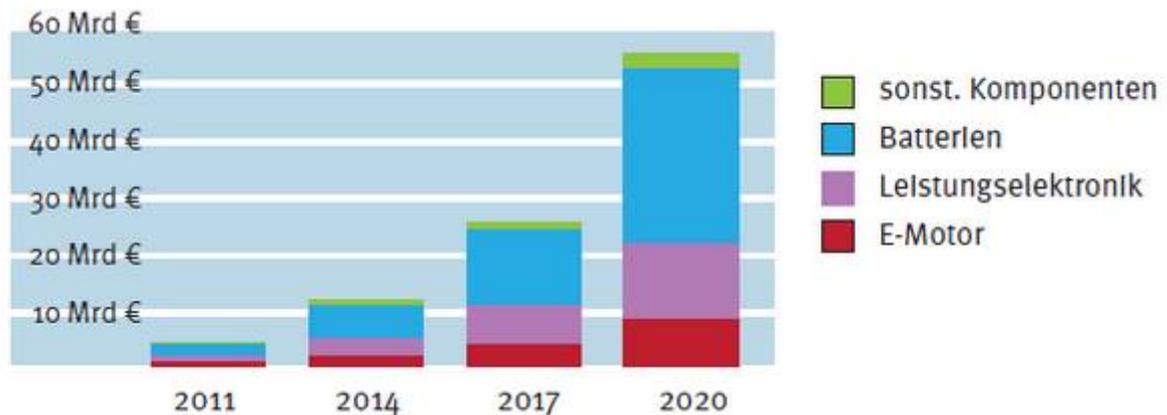
Die Entwicklung des Komponentenmarktes hat Roland Berger näher betrachtet. Zeithorizont ist hier 2020 (Roland Berger 2009). Im Jahr 2020 wird sich dieser Markt auf einem Volumen zwischen 21 Milliarden Euro (low-Szenario) und 53 Milliarden Euro (high-Szenario) bewegen.²⁰

²⁰ low-Szenario: „downsized mobility“ geht von nur schleppender Entwicklung im Bereich der elektrischen Antriebe, mit geringer staatlicher Unterstützung und stabilen Ölpreisen aus.

high-Szenario: „the future drives electric“ geht von steigenden Ölpreisen, Kostenreduzierungen bei Batterien und hoher staatlicher Unterstützung aus (Roland Berger 2009:13).

Die Aufteilung auf die verschiedenen Komponenten ist in der folgenden Abbildung dargestellt (high-Szenario). Deutlich wird, dass die Batterien zukünftig mehr als die Hälfte des Komponentengeschäftes ausmachen werden – zweiter Kostentreiber ist nicht der E-Motor, sondern die Leistungselektronik, die eingesetzt werden muss.

Abbildung 15: Marktperspektive Komponenten E-Fahrzeuge



Quelle: Roland Berger 2009; eigene Darstellung

In der Studie wird darauf hingewiesen, dass die chinesische Automobilindustrie jetzt schon stark auf den Pfad Elektromobilität eingeschwenkt ist. Besonders ausgeprägt ist die Batterieherstellung für E-Fahrzeuge, die nicht zuletzt dank der Rohstoffvorkommen von Lithium in China eine günstige Ausgangsposition verschafft. Chinas Regierung will das Land zum Marktführer in Sachen Elektromobilität entwickeln und hat hierzu umfangreiche Förderprogramme aufgelegt.

Im Jahr 2008 hat Roland Berger (2008) eine Einschätzung zu Antriebsarten in Europa abgegeben. Die Betrachtungsperspektive ist hier 2028. Danach wird der Anteil alternativer Antriebe von 4 Prozent im Jahr 2008 auf 23 Prozent im Jahr 2028 steigen. Zu den alternativen Antrieben gehören mit 7 Prozent Verbrennungsmotoren mit alternativen Kraftstoffen (Biokraftstoffe), mit 6 Prozent E- und Fuell-cell-Fahrzeuge sowie Hybride (Voll- und Plug-in-Hybride). 24 Prozent der Fahrzeuge wird mit fortschrittlichen Verbrennungsmotoren (Direkteinspritzung, Turboaufladung oder HCCI) ausgestattet sein – der Rest von 53 Prozent verteilt sich auf konventionelle Benzin- (18 Prozent) oder Diesel- (35 Prozent) Motoren (Roland Berger 2008: 7).

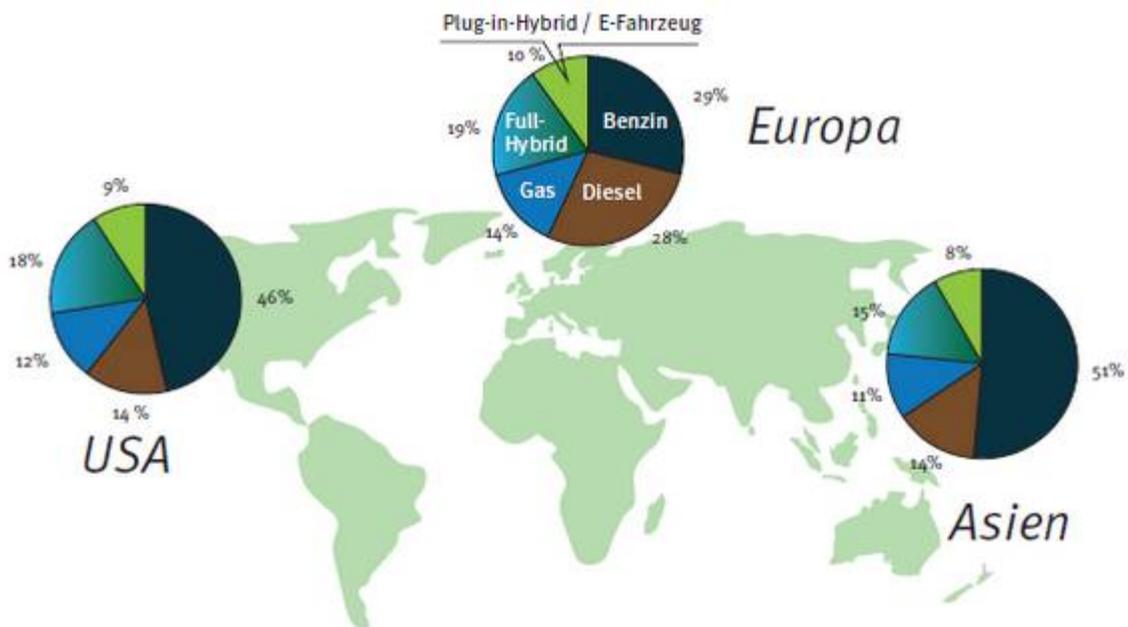
In der Komponentenbetrachtung wird für die Optimierung der Verbrennungsmotoren eine Perspektive eingenommen, die 2006 und 2012 im Hinblick auf das europäische Marktpotenzial vergleicht. Dabei stehen drei Technologien im Vordergrund: Direkteinspritzsysteme, Turbolader und Abgasreinigungsanlagen. Das größte Marktvolumen versprechen die Abgasreinigungsanlagen (von 11,4 auf 15,8 Milliarden Dollar), gefolgt

von Direkteinspritzsystemen (7,8 auf 12,0 Milliarden Dollar) sowie letztlich die Turbolader (8,4 auf 9,9 Milliarden Dollar) (Roland Berger 2008: 15).

A.T. Kearney

A.T. Kearney (2009) erwartet bis 2020 für die drei großen Automobilregionen Amerika, Europa und Asien, dass die Marktanteile von Plug-in-Hybrid und E-Fahrzeugen sich auf einem Niveau zwischen acht und zehn Prozent bewegen werden. Sehr unterschiedlich werden die Marktchancen im Szenario „Moderate drive for change“ für andere alternative Antriebe (Gas, Full-Hybrid) gesehen (siehe folgende Abbildung). Brennstoffzellenantriebe werden – so die Einschätzung – auch 2020 noch zu teuer sein, als dass sie sich im Markt etablieren könnten.

Abbildung 16: Antriebslandschaft 2020 (Verteilung nach Regionen in Prozent)

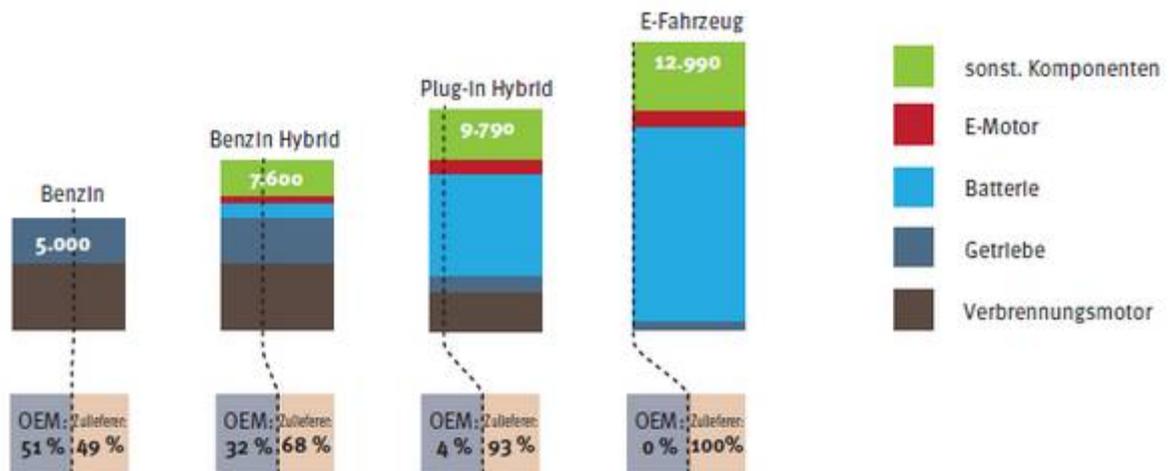


Quelle: A.T. Kearney (2009); eigene Darstellung

Im „moderaten Wandel-Szenario“ wird davon ausgegangen, dass die „Gesetzmäßigkeiten“ der Automobilindustrie weiterhin wirken, das heißt dass Modellzyklen einen Zeitraum von vier bis fünf Jahren haben, die Entwicklungsbudgets begrenzt sind und vor allem bestehende Strukturen und Prozesse nicht schnell verändert werden (dies betrifft vor allem die Umstellung von Produktionsanlagen). Hinzu komme, dass die Akteure mit einer strategischen Unsicherheit konfrontiert sind, die sie erst die neuen Produkte auf den Märkten testen lassen, indem sie Pilotprojekte starten und die Reaktionen darauf abwarten.

Im Hinblick auf die Veränderung der Wertschöpfungskette durch den Trend hin zu alternativen Antriebskonzepten wird deutlich, dass die OEMs im Antriebsstrang kaum noch Wertschöpfungsanteile haben werden (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 17: Heutige Wertschöpfung beim Antriebsstrang von Herstellern und Zulieferern



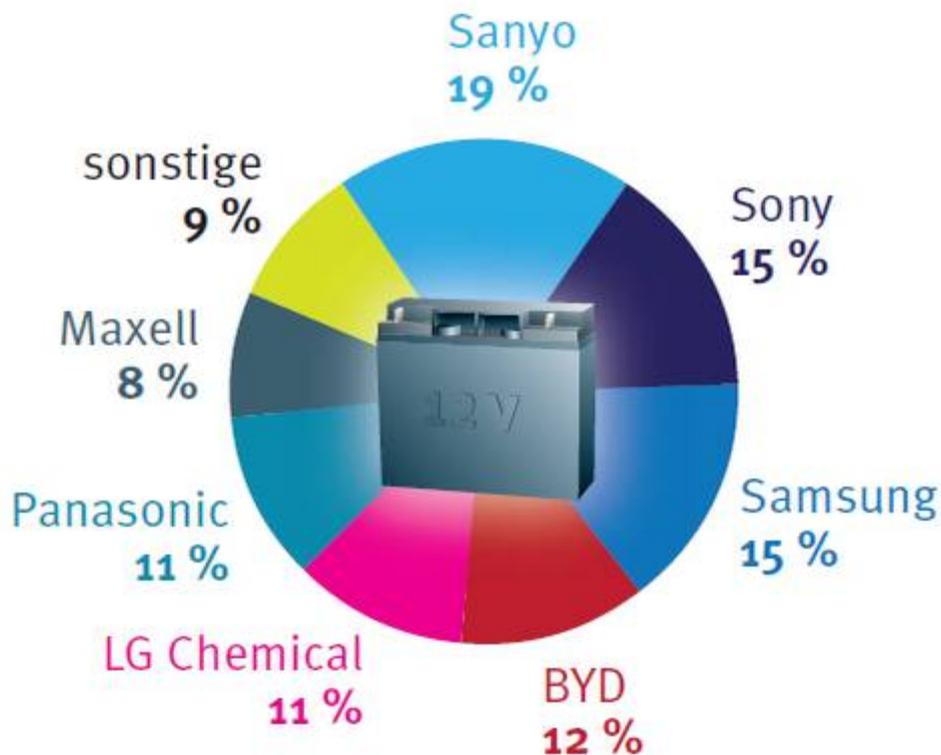
Quelle: A.T. Kearney 2009; eigene Darstellung

Batteriehersteller als Monopolisten?

Als für die gesamte Wertschöpfungskette problematisch wird die Marktmacht neuer Zulieferer angesehen – insbesondere die der Batteriehersteller. Die Konzentration der Produktion auf diesem Gebiet wird für die drei größten Anbieter auf 60 Prozent des Weltmarktanteiles beziffert. Für den Automobilbereich produzierten im Jahr 2008 Hitachi 195 Millionen Lithium-Ionen-Zellen, NEC 50 Millionen und Toshiba unter 50 Millionen Zellen (BMU 2009:7).

Die Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien (im Folgenden LIB) ist - wie oben schon angedeutet - auf die asiatischen Produzenten konzentriert. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über Hersteller und Marktanteile. Mittlerweile hat der Marktführer Sanyo (Batteriepartner von Volkswagen) den ebenfalls japanischen Hersteller Panasonic (Batteriepartner von Toyota) übernommen und bildet damit den mit Abstand größten Hersteller dieser Batterien. In dieser Betrachtung handelt es sich jedoch nicht um spezifische LIBs für den Antriebsstrang von Automobilen, sondern um die gesamte Bandbreite inklusive der LIBs für die Unterhaltungs- und IT-Elektronik.

Abbildung 18: Marktanteile Lithium-Ionen-Batterien 2008



Quelle: Handelsblatt vom 01.12.2009; eigene Darstellung

3.4 Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung

Ziel des Nationalen Entwicklungsplans ist es, dass bis zum Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren. Deutschland soll zum Leitmarkt für Elektromobilität entwickelt werden. Industrieseitig wurde das Ziel dahingehend ergänzt, dass es vor allem auch darum gehe, Deutschland auch zum Leitanbieter von Elektromobilität zu machen, um die technologische Führerschaft der Automobilindustrie auf den Weltmärkten zu erhalten und auszubauen.

Zur Förderung der Elektromobilität und zur Unterstützung der Markteinführung stellt der Bund im Rahmen des Entwicklungsplans für die Jahre 2010 und 2011 Fördermittel in Höhe von 500 Millionen Euro zur Verfügung. Der Plan selbst sieht eine schrittweise Entwicklung vor, die jeweils neue Entwicklungen und neue Erkenntnisse aufnimmt und die weiteren Schritte festlegt. Erste Konkretisierungen des Entwicklungsplans sind erfolgt (BMU 2009):

- Auswahl von acht Modellregionen,²¹
- Konzentration der Systemforschung Elektromobilität bei den Fraunhofer-Instituten sowie die Einrichtung eines „Forums Elektromobilität“ durch Fraunhofer,
- „Marktaktivierungsprogramm zur Einführung der ersten 100.000 Elektrofahrzeuge“ und
- Aufbau von Kompetenzclustern „Elektromobilität mit Schwerpunkt auf Batterie-technologie und -fertigung“.

Abbildung 19: Lithium-Ionen-Batterie: Forschung und Produktion in Deutschland



Quelle: BMU 2009: 9; eigene Darstellung

Aus Sicht der Regierungsberater (McKinsey) gibt es in Deutschland für die Bildung eines Batterie-Kompetenzclusters gute Voraussetzungen. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf Universitäten, Forschungsinstitute und Forschungszentren. Die bisherigen

²¹ Modellregionen: Berlin / Potsdam, Bremen / Oldenburg, Hamburg, München, Rhein-Ruhr, Rhein-Main, Sachsen und Stuttgart, in denen bis Ende 2011 Feldversuche unternommen werden.

Produktionskapazitäten in Deutschland sind auf vier kleinere Anbieter beschränkt (siehe obige Abbildung): Leclanché mit zwei Produktionsstätten sowie Gaia²², Li-Tec und Varta Microbatteries.

Als Koordinierungsstelle zwischen den vier beteiligten Ministerien wurde erst gegen Ende des Jahres 2009 eine Entscheidung getroffen: BMWi und BMVS haben sich auf die Einrichtung einer internen Geschäftsstelle verständigt, die mit jeweils drei Beamten aus dem Wirtschafts- und aus dem Verkehrsministerium besetzt wird. Die Geschäftsstelle Elektromobilität soll das 500 Millionen Euro Förderprogramm betreuen und Aktivitäten koordinieren (Handelsblatt vom 15.12.2009).

Um insbesondere die Industrie in den Nationalen Entwicklungsplan einzubinden, wurde im Mai 2010 die „Nationale Plattform Elektromobilität“ aus der Taufe gehoben. Mit der Etablierung der Nationalen Plattform wurde eine gemeinsame Erklärung von Bundesregierung und deutscher Industrie verabschiedet, in der sich Industrie und Politik auf das gemeinsame Ziel verständigen, Deutschland zum Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln. Industrie und Energiewirtschaft signalisieren, dass sie das Vorhaben des Nationalen Entwicklungsplans mittragen und unterstützen werden.

Als E-Fahrzeuge werden im nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität nur diejenigen Antriebe betrachtet, die das rein elektrische Fahren ermöglichen, also ohne Verbrennungsmotor auskommen. Nur hier ist gewährleistet, dass eine ausreichende Reduzierung des CO₂-Ausstoßes erreicht wird. Damit fallen alle Zwischenschritte über Hybridfahrzeuge oder Fahrzeuge mit Range-Extendern aus dieser Betrachtung heraus. Volumenperspektiven, Kostenbetrachtungen sowie Beschäftigungseffekte und anderes mehr werden im Programmkonzept „Marktaktivierung“ auf Basis eines McKinsey-Gutachtens dargestellt (BMU 2009).

McKinsey schätzt für das Jahr 2020 den weltweiten Markt für E-Fahrzeuge und Hybrid-Modelle auf 470 Milliarden Euro ein – dies entspräche etwa einem Drittel des gesamten Umsatzes von Fahrzeugen. 110 Milliarden Euro entfallen auf E-Fahrzeuge und 360 Milliarden Euro auf Hybridfahrzeuge (Szenario gebildet auf Basis eines Ölpreises von 110 Dollar je Barrel).

Mit der Markteinführung von E-Fahrzeugen entstehe – so die Bundesregierung – eine *neue* Wertschöpfungskette in der Automobilindustrie. Ankündigungen von deutschen OEMs lassen erwarten, dass ab 2012 die ersten E-Fahrzeuge angeboten werden (E-Smart, A-Klasse von Mercedes-Benz, E-Mini von BMW, E-Golf von VW, Volt von Opel sowie ein Fuel-Cell Hybrid von Ford).²³

²² Gaia Akkumulatorenwerke GmbH, Nordhausen. Die Konzernmuttergesellschaft LTC - Lithium Technologie Corporation ist in den USA börsennotiert und seit vielen Jahren im Bereich großformatiger Energiespeichersysteme tätig. Die Vorteile der GAIA Lithium-Ionen-Zellen sind höchste Leistungs- und Energiedichten in großformatigen Batterien. Die gewickelten Rundzellen haben Kapazitäten von 7,5Ah bis 500Ah. Die derzeit verwendete Technologie basiert auf Li(NiCoAl)O₂ und LiFePO₄ (www.gaia-akku.com /08.01.2010).

²³ Beispiel BMW E-Mini: Seit 2009 befinden sich 50 dieser Fahrzeuge in Berlin in einem Testbetrieb. Der Strom wird von Vattenfall (dem Stromversorger der Region) zur Verfügung gestellt. Aus dem viersitzigen Mini wurde durch ein Batteriepack mit 5.000 Li-Ionen-Akkumulatorenzellen ein Zweisitzer, da die Batterie neben dem Platz im Heck die komplette Rücksitzbank in Anspruch nimmt. Das Fahrzeug hat eine Leistung von 204 PS (vgl. Tagesspiegel vom 10.11.2009). Die Testkunden konnten sich beim

Diese eher als Pilotprojekte zu charakterisierenden Fahrzeuge werden sogenannte Plug-in Electrical Vehicle sein, die mit großem Batteriespeicher und E-Motor ausgestattet sind und bei denen die Batterie aus dem Stromnetz an Ladestationen aufgeladen werden. Damit sind zwei der Problemfelder angesprochen, die einer klassischen Serienproduktion von E-Fahrzeugen noch entgegen stehen: (1) das Batteriesystem und (2) die Infrastruktur zur Aufladung.

3.5 Komponenten des elektrischen Antriebes

Rein elektrische Antriebe benötigen zum Teil völlig andere, zum Teil modifizierte Komponenten als der Verbrennungsmotor. Daher ist je nach Markterfolg von E-Antrieben und Durchsetzung beim Verbraucher sowie Marktakzeptanz der Ablösungsprozess von Verbrennungsmotoren durch E-Motoren und den dazugehörigen Komponenten (phase-in – phase-out) zu bewerten und bringt zu den erwartenden Zeitpunkten und Volumina entsprechende Veränderungen in der Wertschöpfungskette mit sich.

In der folgenden Abbildung sind die wesentlichen Komponenten dargestellt:

Abbildung 20: Technologischer Reifegrad und Wertanteil eines batterieelektrischen Fahrzeuges

Komponente	techn. Reifegrad aktuell	Wertanteil im Jahr 2020	Wertanteil in EUR im Jahr 2020
E-Lenkung	hoch	1,7 %	357,-
Fahrwerk E-spezifisch (Leichtbau)	mittel	4,0 %	840,-
Energieerzeugung Bremse	hoch	0,5 %	105,-
Heizung / Klimatisierung	hoch	3,0 %	630,-
Kühlung E-Komponenten	mittel	0,7 %	147,-
Energiespeicher	niedrig	38,0 %	7.980,-
On-Board-Ladegerät	hoch	0,5 %	105,-
Leistungselektronik + DC/DC-Wandler	hoch	4,5 %	945,-
E-Motor + Getriebe	hoch	5,0 %	1.050,-
Rest		42,1 %	8.841,-
gesamt		100,0 %	21.000,-

Quelle: H. Naunheimer / ZF Friedrichshafen AG 2009; eigene Darstellung

Stromanbieter Vattenfall um eine Teilnahme bewerben – der monatliche Preis für die Nutzung des Fahrzeuges beträgt 400 Euro.

Technologisch reif sind demnach folgende Komponenten: Elektromotor (EM) und Getriebe, Leistungselektronik und Gleichstromwandler (LE + DC / DC)²⁴, Ladegerät, Kühl- und Heizungssystem, Bremssystem mit Energierückgewinnung (Rekuperation), sowie die Elektrolenkung. Eine etwas geringere technologische Reife liegt beim E-Fahrzeugspezifischen Leichtbauwerk und bei der Kühlung der E-Komponenten vor. Während für E-Fahrzeuge nutzbare Lenk- und Bremssysteme heute bereits die Funktionalitäten aufweisen und Klima- / Heizungssysteme ebenfalls vorhanden sind und gegebenenfalls leicht modifiziert werden müssen, stellen insbesondere Energiespeicher (Batterien), die gleichzeitig den größten Kostenblock im E-Fahrzeug darstellen, die große Entwicklungsherausforderung dar. Damit verbunden sind auch entsprechende Kühlsysteme für die Batterien sowie die ebenfalls dazugehörige Leistungselektronik, die Batteriezustände überwacht und regelt.

In Summe – so die Erwartung von ZF – beträgt der Wertanteil an Komponenten für den elektrischen Antrieb 57,9 Prozent am Fahrzeugpreis oder 12.159 Euro – der größte Einzelanteil entfällt mit 38 Prozent auf den Energiespeicher.²⁵

Abbildung 21: Komponenten-Betrachtung – vom Verbrennungsmotor zum E-Antrieb

Was fällt weg?	Was wird stark verändert?	Was kommt hinzu?
Verbrennungsmotor mit Motorblock, Kolben, Dichtungen, Ventilen, Nockenwelle, Ölwanne, Ölfilter, Lager etc. Einspritzanlage Abgasanlage Tanksystem Kupplung Nebenaggregate wie Ölpumpe, Turbolader, Lichtmaschine	Getriebe Radaufhängung Kraftübertragung Klimaanlage / Heizung Kühlwasserpumpe Wärmedämmung	Elektromotor und weitere Antriebsselemente Batteriesystem mit Akkumulator, Leistungselektronik, Batteriemanagementsystem, Ladegerät (Plug-in), DC/DC-Wandler

Quelle: Dispan u.a. 2009: 231

3.5.1 Elektromotor

Prinzipiell gibt es zwei Arten von Elektromotoren, wie sie in der folgenden Abbildung dargestellt sind: Asynchron- und Synchron-Motoren. Bei den Synchronmotoren ist vom Typ her entscheidend, ob das Magnetfeld permanent oder hybrid erregt wird. Für E-Fahrzeuge scheint sich der hybrid erregte Synchronmotor (HSM) als geeignetste Variante herauszustellen (Mathoy / Bursa 2008).

²⁴ DC = Direct Current (Gleichstrom)

²⁵ Die Kosten und jeweiligen Anteile der Komponenten an den Herstellkosten eines E-Fahrzeuges basieren auf ZF-internen Recherchen und Quellen – der angegebene technologische Reifegrad basiert auf den Einschätzungen der Entwicklungsabteilung ZF Friedrichshafen.

Abbildung 22: Arten von Elektromotoren



Quelle: Mathoy (Bursa AG) 2008

Der Asynchronmotor ist heute der am meisten verwendete Elektromotor. Der einzigartige Vorteil gegenüber anderen Elektromotoren ist das Fehlen von Kommutator und Bürsten. Ein Synchronmotor ist eine Maschine, bei der ein konstant magnetisierter Läufer (Rotor) synchron von einem bewegten magnetischen Drehfeld im umgebenden Stator mitgenommen wird. Das Feld im Läufer wird durch Permanentmagnete oder Elektromagnete erzeugt.

Auch im Hinblick auf die Elektromotoren wird die Rohstoffverfügbarkeit thematisiert. Kritische Größe ist Neodymium (als Magnet) für permanent magnetsynchrone Motoren.²⁶ 80 Prozent des Weltrohstoffvorkommens lagert in China (Roland Berger Insight 2-2009: 1).

3.5.2 Batteriesystem

Für den rein elektrischen Fahrbetrieb wird in der derzeitigen Diskussion von einer Reichweite zwischen 100 und 130 Kilometern als Standard ausgegangen. Höhere Reichweiten sind mit heutigen Batteriesystemen nicht erreichbar. Diese Reichweiten werden als ausreichend erachtet, um im Normalgebrauch des motorisierten Individualverkehrs (MIV) (durchschnittliche Tagesstrecke von ca. 40 Kilometern) einsetzbar zu sein.

Die klassische Bleibatterie ist von der Leistungsdichte her nicht für den E-Antrieb geeignet. Die Natrium-Nickelchlorid-Batterie wird nur im Bereich der leichten Nutzfahr-

²⁶ Permanent erregte Maschinen haben den Vorteil, dass zur Erzeugung des Magnetfeldes keine Energie benötigt wird. Das verbessert besonders bei kleiner Gesamtleistung den Wirkungsgrad. Der Nachteil besteht darin, dass Feldschwächung unmöglich und damit der mögliche Drehzahlbereich kleiner ist.

zeuge eingesetzt und ist nur für Kurzstreckenfahrten nutzbar. Als Batterietechnologien, die in E-Fahrzeugen einsetzbar sind, werden vor allem Lithium-Ionen-Batterien (LIB) angesehen, da sie eine deutlich höhere Energiedichte wie auch Leistungsdichte²⁷ als Nickel-Metallhydrid-Batterien (NiMH) haben.

LIBs für die Energiespeicherung im Fahrzeug werden aus einer Vielzahl von Zellen zu einem Batteriepack zusammengesetzt (siehe beispielsweise E-Mini mit 5.000 Zellen). LIBs werden schon seit Jahren in Produkten der Konsum- / Unterhaltungselektronik eingesetzt (MP3-Player, Videokameras, Digitalkameras, Notebooks, Mobiltelefone bis hin zu Werkzeugen wie Akkuschauber oder drahtlose Bohrmaschinen), haben hier jedoch deutlich geringere Anforderungen zu erfüllen, als sie für den automobilen Einsatz notwendig sind.²⁸

Zum Vergleich: Ein Mobiltelefon ist mit einer LIB ausgestattet, die eine Leistung von 750 mAh hat – eine LIB für ein Hybridfahrzeug muss zumindest über eine Leistung von 5,2 Ah verfügen und ist entsprechend groß dimensioniert. Für den batteriebetriebenen elektrischen Antrieb wird eine Leistung von 24 Ah gefordert, um die begrenzte Reichweite von ca. 120 Kilometern zu erreichen. Je nach verwendetem Material liegt die Energiedichte von LIBs bei 95 bis 190 Wh/kg (beziehungsweise 250 bis 500 Wh/l).

Planungen für Elektroantriebe in Sportfahrzeugen verdeutlichen, dass die Leistungsfähigkeit der Batteriesysteme noch deutlich höher ausgelegt wird. Dies soll kurz an zwei Beispielen illustriert werden: Mercedes-Benz SLS AMG und Ruf-Porsche. Darüber hinaus ist mit dem E-Tron von Audi ein weiterer elektrisch angetriebener Sportwagen auf Basis des R8 angekündigt (<http://www.spiegel.de/auto/fahrberichte/0,1518,665818,00.html> /08.01.2010).

²⁷ **Energiedichte:** Energie pro Raumvolumen (beispielsweise beträgt die Energiedichte eines Lithium-Polymer-Akkus 140–180 Wattstunden pro kg Masse (140–180 Wh/kg) und die eines Nickel-Metallhydrid-Akku (NiMH) 80 Wh/kg.)

Leistungsdichte: Bei Brennstoffzellen, Akkumulatoren oder auch Kondensatoren bestimmt die Volumen-Leistungsdichte die Größe der Zellen, die Masse-Leistungsdichte (W/kg) das Gewicht. Ein Ragone-Diagramm setzt die Leistungsdichte in Beziehung zur Energiedichte.

²⁸ Dies betrifft zum Beispiel die Sicherheit – im Jahr 2008 gab es einige Rückrufaktionen von spezifischen Produktionschargen von LIBs für Notebooks, da es in mehreren Fällen zur Überhitzung der Batterie und zur Entflammung kam.

Beispiel: Mercedes-Benz SLS AMG

Die Tuningtochter von Mercedes-Benz plant für 2012 / 2015 einen Sportwagen (SLS Flügeltürer) mit E-Motor auf den Markt zu bringen. Die E-Motoren sollen eine Leistung von 532 PS erbringen und werden aus drei LIB-Paketen mit Strom versorgt. Die Akkus haben zusammen eine Kapazität von 40 Ah sowie einen Energiegehalt von 48 kWh und werden von Brusa²⁹ zugeliefert – ebenso wie die vier radnahen E-Motoren. Die Reichweite des Fahrzeuges wird zwischen 150 und 180 Kilometern liegen.

Durch Wegfall von Komponenten für den Verbrennungsmotor (Motor, Kardanwelle, Auspuffanlage, Tank, Getriebe) entfallen 400 Kilogramm Gewicht – die hinzukommenden Elektromodule wiegen rund 600 Kilogramm. Das Fahrwerk bleibt bis auf ein modifiziertes Dämpfersystem (ersetzt den doppelten Querlenker vorn) identisch (Focus online / 06.01.2010).

Beispiel: Ruf-Greenster (Porsche)

Ruf, ein Porsche-Autotuner aus dem schwäbischen Pfaffenhausen, wird 2010 einen elektrisch angetriebenen Porsche auf den Markt bringen, um die Leistungsfähigkeit dieses Antriebskonzeptes zu veranschaulichen. Bereits 2008 hat Ruf einen Elektro-Porsche vorgestellt.

Auf Basis eines Porsche 911 wird in Kooperation mit Siemens ein 80 Kilogramm schwerer Porsche für 160.000 Euro angeboten werden, der eine Leistung von 370 PS hat. Die Lithium-Ionen-Batterien werden von Gaia, Nordhausen kommen.

Siemens hat im Bereich der zentralen Forschung (Corporate Technology) eine spezielle Arbeitsgruppe „Elektromobilität“ eingerichtet. Diese Arbeitsgruppe wird die 2008er Version des E-Porsche weiterentwickeln. Der Greenster wird ein Doppelmotor-Konzept haben (Süddeutsche Zeitung vom 02.06.2009; Siemens AG, Pictures of the Future, Frühjahr 2009, S. 96-101).

Alle bisherigen Publikationen von Unternehmensberatungen gehen davon aus, dass LIB die dominante Batterietechnologie mit dem zur Zeit größten Leistungsniveau ist. Am 29. Januar 2010 verlieh der Parlamentarische Staatssekretär beim Bundesverkehrsminister im Rahmen der Gala "Auto der Vernunft" den Sonderpreis „Innovation

²⁹ Brusa: BRUSA Elektronik AG, Sennstadt / CH, beliefert die Automobil-Industrie mit Leistungselektronik. BRUSA Elektronik AG ist unabhängig. Eigentümer sind Management und Mitarbeiter. Die Zahl der Beschäftigten betrug 30 (2007) http://www.brusa.biz/g_company.htm/07_01.2010. Im Jahr 2009 betrug die Zahl der Beschäftigten 50. Im März 2009 haben Magna und Brusa einen Kooperationsvertrag zur gemeinsamen Weiterentwicklung von Komponenten für Elektroantriebe geschlossen (Magna Pressemitteilung vom 04.03.2009).

der Vernunft“ an das Berliner Jung-Unternehmen DBM Energy für ihren Kolibri Alpha-Polymer-Akku (<http://www.bmvbs.de/-,302.1118802/Mobilitaet-der-Zukunft-Der-Par.htm>).

Technologie Kolibri AlphaPolymer-Akku

„Grundlage der Kolibri Akkus ist die von uns entwickelte 4 Layer Technologie, wobei jede Schicht durch die von uns entwickelte Alpha Polymer Membran getrennt wird. Abgestimmte Chemie und umfangreiche praktische Tests machen die Kolibri Technologie zum effizientesten Lithium Energiespeicher auf dem Markt.

Die Kolibri Technologie bildet das magische Dreieck zwischen Wirtschaftlichkeit, Leistung und Handling. Unsere Zellen werden durch aktive Batterie Management Systeme (BMS) auf die Anforderungen unserer Kunden abgestimmt. Das BMS ermöglicht eine vollständige Überwachung aller Zellen, der Anwender kann bei Bedarf auch Online auf das BMS zugreifen und den Zustand der einzelnen Zellen abfragen und somit seinen Energieverbrauch beziehungsweise Bedarf berechnen. Die Entwicklung und Produktion der Batterie Management Systeme geschieht bei der DBM. Das macht uns unabhängig und sichert Ihnen ein Höchstmaß an Individualität und Sicherheit“ (<http://www.dbm-energy.com> / 13.02.2010).

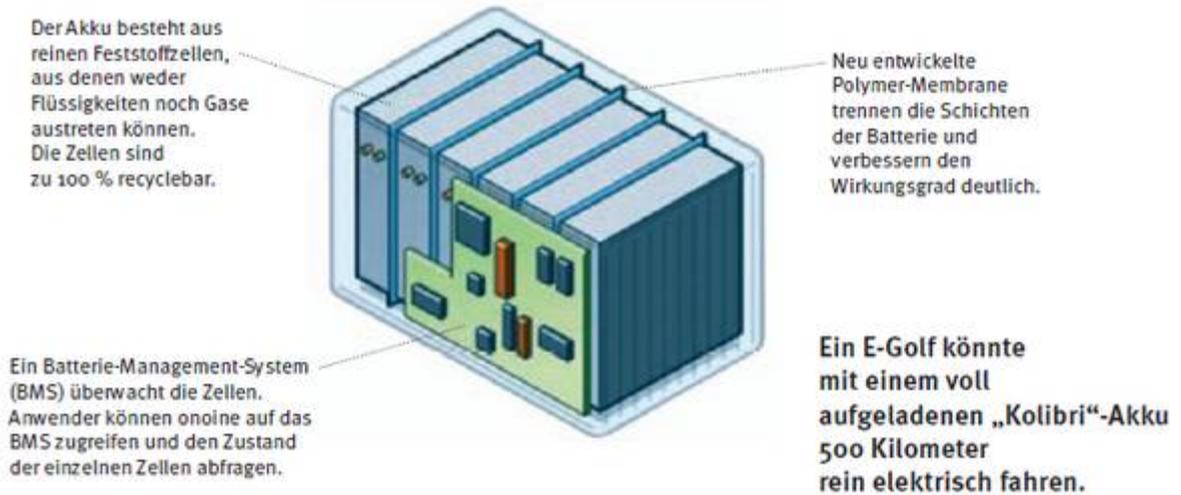
Ursprünglich sollten technische Systeme für den Katastrophenschutz entwickelt werden. 15 Millionen Euro Entwicklungskosten und mehrere Jahre Forschung führten zu einer Batterie, die bisherigen LIBs deutlich überlegen ist: dem LMP (Alpha-Polymer-Akku). Der LMP hat keine Temperaturprobleme und liefert Strom bei Temperaturen von -40 bis +100 Grad Celsius. Der Wirkungsgrad liegt bei 99,7 Prozent (im Vergleich zu 80 Prozent bei LIBs). Bisher wurde diese Batterie als Akku für Gabelstapler in der Praxis getestet – mit deutlichen Vorteilen gegenüber anderen Batterien.

Geplant war, diese Batterie im Ruf-E-Porsche (siehe oben) einzusetzen. Der Elektrik-Ausrüster Siemens stoppte den Einsatz mit dem Argument:

„Es ist nicht im Interesse der Kunden, ein Elektroauto mit einer so großen Reichweite zu präsentieren“ (Handelsblatt vom 09.03.2010).

Vor einem möglichen Einsatz wollten sich Siemens und Ruf die „Kolibri“-Batterie von DBM im Detail anschauen - angesichts des Wettbewerbes und aus Gründen des Know-how-Schutzes wurde dies jedoch vom Erfinder M. Hannemann abgelehnt. Ruf will jedoch den Kontakt zu diesem Start-up aufrecht erhalten.

Abbildung 23: LMP-Akku „Kolibri“ von DBM Energy



Quelle: Handelsblatt, 09.03.2010 und eigene Darstellung

Rohstoff-Frage

Angesichts der erwarteten Dynamik der Nachfrage und der Produktion von LIB wird auch die Frage nach der Verfügbarkeit des Rohstoffs Lithium gestellt. Im Jahr 2008 wurden 27,4 Millionen Tonnen Lithium gefördert – die zur Zeit erreichbaren Reserven belaufen sich auf 4.100 Millionen Tonnen – das umfangreichste Förderreservoir hat zur Zeit Chile. Werden die erschließbaren Reserven mit in die Betrachtung einbezogen (siehe folgende Abbildung), ergibt sich ein Vorrat von 11.000 Millionen Tonnen Lithium (Transport and Environment 2009, Fraunhofer ISI 2009).

Abbildung 24: Weltweite Lithium-Produktion und Reserven in Mio. Tonnen

	Produktion 2008	Reserven	erschließbare Reserven
US		38	410
Argentinien	3,2		
Australien	6,9	170	220
Bolivien			5.400
Brasilien	0,2	190	910
Chile	12,0	3.000	3.000
China	3,5	540	1.100
Kanada	0,7	180	360
Portugal	0,6		
Zimbabwe	0,3	23	27
Welt	27,4	4.100	11.000

Quelle: Transport and Environment 2009

In der Betrachtung der erschließbaren Ressourcen taucht dann auch Bolivien als Land mit den größten Vorkommen auf. Etwa die Hälfte dieser erschließbaren Reserven entfallen auf dieses südamerikanische Land, da in der Salzwüste von Uyuni das größte abbaubare Vorkommen liegt (Tagesspiegel vom 10.11.2009).

3.5.3 Infrastruktur

Im Bereich der infrastrukturellen Ausstattung gibt es zwei grundlegende Varianten. Zum einen eine von Better Place als Geschäftsmodell entwickelte und beispielsweise in Dänemark oder Israel umgesetzte Variante, die vor allem den Austausch des Batteriepacks (leer gegen voll) an entsprechenden Wechselstellen vorsieht. Offen ist hier noch, ob die Batteriepacks angesichts der hohen Kosten / Preise im Eigentum des Fahrzeughalters sind oder ob sie lediglich vermietet werden. Die Wechselstrategie hat den außerordentlichen Nachteil, dass das Batteriepack komplett entnommen und wieder eingesetzt werden muss, was neue Anforderungen an die Anordnung, den Einbaupunkt und die Zugänglichkeit mit sich bringt. Diese Anordnung müsste zudem standardisiert werden, damit die Wechselstationen mit entsprechenden Handhabungsgeräten ausgestattet werden können. Der Vorteil besteht in einer Verlängerung der Reichweite des E-Fahrzeuges, da ein solcher Wechsel der Batterie zeitlich einem Tankvorgang beim Fahrzeug mit Verbrennungsmotor entspricht.

Die Alternative zum Austausch sind Ladestationen, die jedoch ähnlich flächendeckend wie Tankstellen im öffentlichen Raum aufgebaut werden müssten. Hinzu kämen Ladestationen an Orten, wo über längere Zeit geparkt wird (wie zum Beispiel an Supermärkten, Arbeitsstätten) sowie an den Wohnorten beziehungsweise Parkplätzen, um die Batterien über Nacht aufladen zu können. Diese Alternative setzt jedoch erhebliche Investitionen in den Ausbau dieser Infrastruktur voraus, der von den Stromanbietern geleistet werden müsste. Entsprechend sind zur Aufladung Standards zu entwickeln und festzulegen (Stromanschlüsse, Stecker, Kabel...).

3.6 Beschäftigungseffekte

Der Systemwechsel zur Elektromobilität wird die regionale Entwicklung in „Automobilregionen“ wie Baden-Württemberg erheblich beeinflussen. Die beschäftigungspolitische Dimension des bevorstehenden Strukturwandels ist evident, wenn auch Langfristprognosen zur Entwicklung der Arbeitsplatzanzahl in der Automobilindustrie, zur Qualifikationsentwicklung und zur Qualität der Arbeit sehr schwierig sind und entsprechende Wirkungsanalysen des bevorstehenden Strukturwandels bisher nicht vorliegen. In die weite Zukunft geblickt sind Folgen einer Durchsetzung des Elektroantriebes für Arbeitsplätze und Qualifikationen bisher nur nebulös erkennbar – Was passiert in und mit den bestehenden Motoren- und Getriebewerken und den Beschäftigten? Wer entwickelt und produziert die Elektromotoren? Wo werden die anderen Komponenten für Elektromobilität wie Batterie, Brennstoffzelle, Leistungselektronik entwickelt und gefertigt? Können die Beschäftigten ihre Kompetenz der Montage von Antrieben auch bei drastisch veränderter Wertschöpfungsstruktur aufrecht erhalten und weiter entwickeln oder kommen beispielsweise klassische Elektromotorenhersteller zum Zuge? Welche Qualifikationen sind gefragt? Was muss bereits in naher Zukunft getan werden, damit diese Qualifikationen rechtzeitig verfügbar sind? Welche Arbeitsbedingungen und mögliche Gefahren am Arbeitsplatz bringen die neuen Technologien mit sich?

Elektromobilität wird jedoch nicht über Nacht kommen, vielmehr ist von einem sukzessiven Wandel hin zu einer immer stärkeren Elektrifizierung des Antriebsstranges auszugehen. Gleichzeitig erlangt das Thema Leichtbau eine immer größere Bedeutung. In den nächsten Jahren ist mit einer weiteren Diversifizierung im Antriebsstrang zu rechnen, die voraussichtlich zunächst keine negativen Beschäftigungseffekte mit sich bringt. In der folgenden Konvergenzphase wird der Verbrennungsmotor zunehmend zugunsten des Elektroantriebes an Bedeutung verlieren, weil die Hybridautos immer stärker elektrifiziert werden (Plug-in-Hybride) und weil die Marktanteile von Elektroautos steigen. Langfristig gesehen könnte es dann zu einer Dominanz von Elektroautos – sowohl batterieelektrischen als auch Brennstoffzellenfahrzeugen kommen.

Für eine langfristig angelegte „Arbeitsplätze-Bilanz“, für einen Vergleich der Beschäftigungseffekte beim Verbrennungsmotor mit dem Elektroantrieb gibt es bisher nur grobe Annäherungen. Fest steht, dass die Beschäftigungseffekte in der Fertigung von einer Komplexitätsreduzierung geprägt sind. Es wird kein komplexer Verbrennungsmotor

mehr benötigt, sondern es werden einfachere und in der Regel weniger anspruchsvolle Komponenten für Elektroautos, vielfach hoch automatisiert, gefertigt.

Die Gegenüberstellung von konventionellem und batterieelektrischem Antriebsstrang zeigt, dass das Arbeitsvolumen beim komplexen Verbrennungsmotor mit ca. 1.400 Teilen (Motor und Getriebe) deutlich höher liegt als beim Elektroauto mit gut 200 Teilen im Antriebsstrang. Zudem ist bei den Fertigungsverfahren beim Elektroantrieb von einer stärkeren Automatisierung auszugehen. Experten aus der Automobilindustrie rechnen mit einem um 50 bis 70 Prozent verringerten Arbeitsvolumen in den Motorenwerken, wenn man die Produktion von Elektromotoren mit weit komplexeren Otto- oder Dieselmotoren vergleicht. Bezogen auf die Region Stuttgart gehen sie laut einer Studie des IMU Instituts in „mittel- bis langfristiger Perspektive von negativen Beschäftigungswirkungen aus“ (Dispan et al. 2009). Bezogen auf Baden-Württemberg geht das Institut für Automobilwirtschaft davon aus, dass der Trend zum Elektroauto baden-württembergische Automobilzulieferer gefährdet: „Betroffen von dieser Entwicklung wären etwa 60.000 Arbeitsplätze in der baden-württembergischen Automobilzulieferindustrie“, so eine IFA-Pressmeldung vom 22. Oktober 2009. Ähnlich schlussfolgert der VDMA für die Bundesebene: Wenn es nicht gelingt, Elektromobilität in Deutschland zu industrialisieren, wenn Glieder aus der automobilen Wertschöpfungskette schwach werden oder herausbrechen, dann werde das zur „Sollbruchstelle für hunderttausende Arbeitsplätze“.

Dagegen konstatiert das Bundeswirtschaftsministerium bei seiner „Potenzial-Analyse Elektromobilität in Deutschland“ positive Beschäftigungseffekte. Bei der Chancen-Risiken-Betrachtung im für die „Potenzial-Analyse“ erstellten SWOT-Diagramm werden die Beschäftigungschancen hervorgehoben: „Schaffung neuer Arbeitsplätze für hochqualifizierte Fachkräfte“. Auf der Risiko-Seite der SWOT-Analyse wird das Thema Beschäftigung interessanterweise nicht aufgegriffen (BMWi 2009: 26).

Die vorliegenden Studien von Unternehmensberatungsgesellschaften gehen wenn, dann nur am Rande auf die Veränderung der Wertschöpfungskette und die damit zusammenhängenden Chancen und Risiken für die Beschäftigung ein.

McKinsey

Eine Ausnahme ist die Studie von McKinsey für das BMU. In der Studie wird davon ausgegangen, dass für die Zulieferindustrie ein Komponentenmarkt von etwa 75 Milliarden Euro (2020) entsteht. Durch den Wegfall von klassischen Komponenten bei Verbrennungsmotoren sind etwa 46.000 Arbeitsplätze zum großen Teil bei deutschen Zulieferern (bei 25 Prozent Weltmarktanteil etwa 11.500) negativ betroffen – durch den Markt für neue Komponenten eröffnen sich für deutsche Zulieferer Möglichkeiten, einen Großteil der 250.000 Arbeitsplätze zu schaffen. McKinsey geht davon aus, dass allein 140.000 der weltweit neuen 250.000 Arbeitsplätze bei Batterieherstellern entstehen werden. Deutschland müsse diese Chance nur nutzen, so McKinsey.

Abbildung 25: Beschäftigungseffekte auf der Komponentenebene für deutsche Zulieferer



Quelle: BMU 2009:5

Syndex

Eine rechnerische Betrachtung wurde im Jahre 2009 von Syndex (2009) angestellt, um die potenziellen Risiken und Chancen für die Beschäftigung durch den Wandel zur Elektromobilität näher zu bestimmen.

Ausgangspunkt der Betrachtung sind die Prognosen von PWC zur Weltmarktentwicklung von Fahrzeugen nach Antriebsart (AUTOFACTS Global Automotive Outlook). Für die elektrischen Antriebsarten wurden die Mehrkosten pro Fahrzeug mit dem Marktvolumen multipliziert und daraus Mehrbeschäftigung ermittelt. Für die Fünf-Jahres-Schritte wurden jeweils in drei Varianten (low – medium – high) Annahmen getroffen, die die PWC-Prognose in die Zukunft fortgeschrieben haben. Letztlich wurden die Ergebnisse auf Basis eines 30-Prozent-Anteils Europas am Weltmarkt auf Europa heruntergebrochen.

Im Ergebnis ergibt sich folgende zusammengefasste Abbildung. Bei der unteren Variante ergibt sich für 2015 ein Risikopotenzial von 168 Arbeitsplätzen und ein Chancenpotenzial von 14.465 Arbeitsplätzen. Bei der mittleren Variante steigt das Chancenpotenzial auf 43.342 Arbeitsplätze; ebenfalls bei der mittleren Variante würde sich demnach für 2030 ein Arbeitsplatzpotenzial von 233.796 durch die Elektromobilität ergeben.

Abbildung 26: Beschäftigungsrisiken und –chancen der Elektromobilität

	2015			2020			2030		
	low	medium	high	low	medium	high	low	medium	high
Verlustpotenzial	168	840	1.680	1.785	4.463	8.925	10.500	15.750	21.000
Gewinnpotenzial	14.465	43.352	70.148	55.011	119.127	201.454	165.970	233.796	331.940

Quelle: Syndex 2009; eigene Darstellung

Continental AG

Continental hat mit der Integration von Siemens VDO ein Produktspektrum weiterentwickelt, das viele Komponenten für Hybridantriebe enthält. Die in Berlin als Prototypen entwickelten Lithium-Ionen-Batterien werden seit Mitte 2008 in Nürnberg in Serie gefertigt. Mit einem Investitionsaufwand von 3,3 Millionen Euro wurde in Nürnberg die Fertigung von LIB aufgenommen – beschäftigt sind in der Produktion und der Produktion vorgelagerten Bereichen insgesamt 23 Arbeitnehmer (conti intern 6/2008; www.wattgehtab.de /28.12.2009).

Mittlerweile hat Continental den Auftrag erhalten, für eine Großserienfertigung von Elektroautos den vollständigen elektrischen Antriebsstrang inklusive der Steuerung zu liefern. Der Elektromotor wird ein fremd erregter Synchronmotor sein (conti intern 5-2009).

Daimler / Evonik

Neben dem Gemeinschaftsunternehmen Li-Tec in Kamenz (Sachsen)³⁰ ist die Deutsche Accumotive als weiteres Gemeinschaftsunternehmen gegründet worden. Mit einem Investitionsaufwand von 200 Millionen Euro soll unter diesem Dach ab 2010 / 2011 eine Lithium-Ionen-Batteriezellfabrik entstehen. Der E-Smart befindet sich seit November 2009 in der Produktion im französischen Hambach und wird ab 2012 mit Lithium-Ionen-Batterien ausgerüstet werden (Handelsblatt vom 21.12.2009).

³⁰ Li-Tec wird pro Jahr 300.000 Zellen im sächsischen Kamenz produzieren.

Fraunhofer IAO: Strukturstudie Baden-Württemberg

Die Strukturstudie BW^e mobil vom Fraunhofer IAO Stuttgart fasst im Auftrag des Wirtschaftsministeriums des Landes Baden-Württemberg die verschiedenen Consulting-Studien zu den Auswirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstranges im Sinne einer Metastudie zusammen. Die Veränderung in der Wertschöpfung (Produktionsvolumen) wird für die einzelnen Komponenten / Module zunächst weltweit dargestellt. Daraus wird dann für Baden-Württemberg ein je 5prozentiger Anteil ermittelt (für Deutschland wird von einem 25prozentigen Anteil (Quelle McKinsey) auszugehen sein).

Aus den Umsatzveränderungen wird schließlich die Veränderung der Beschäftigung errechnet, die auf einem Produktionsumsatz pro Vollbeschäftigungseinheit in Höhe von 300.000 Euro basiert. Explizit wird darauf hingewiesen, dass die Veränderung der Umsätze nur grob zusammengestellt wurde - eine Überprüfung durch Expertengespräche ergab keine Validierung der Daten, sondern erheblich Differenzen in den Einschätzungen (IAO 2010: 40 ff.).

Abbildung 27: Beschäftigungspolitische Auswirkungen der Elektromobilität auf Baden-Württemberg (und Deutschland) im Jahr 2020

	Veränd. Umsatz weltweit in Mio. EUR	Veränd. Umsatz bei 5% Anteil	Veränd. Umsatz bei 25% Anteil	Veränd. Arbeitsplätze bei 300 T€ Prod.Umsatz	
	2020	BaWü 2020	DE 2020	BaWü 2020	DE 2020
Verbrennungsmotor	-11.051,5	-552,6	-2.762,9	-1.674	-8.372
Effizienztechnologien	43.385,0	2.169,3	10.846,3	6.573	32.867
Abgasanlage	5.961,2	298,1	1.490,3	903	4.516
Getriebe, Kupplung	5.966,4	298,3	1.491,6	904	4.520
Tanksystem	74,5	3,7	18,6	11	56
Starterbatterie	-76,9	-3,8	-19,2	-12	-58
Lenkung, Klima	7.397,2	369,9	1.849,3	1.121	5.604
Anlasser, Lichtmaschine	-154,0	-7,7	-38,5	-23	-117
E-Maschine	10.636,3	531,8	2.659,1	1.612	8.058
Motor-Controller	7.095,8	354,8	1.773,9	1.075	5.376
Leistungselektronik	3.984,3	199,2	996,1	604	3.018
sonst. Elektronik	3.106,1	155,3	776,5	471	2.353
Traktionsbatterie	33.435,0	1.671,7	8.358,7	5.066	25.330
Ladegerät	2.109,9	105,5	527,5	320	1.598
	111.869,3	5.593,5	27.967,3	16.950	84.749

Quelle: Fraunhofer IAO 2010: 40-46

Im Ergebnis dieser „rechnerischen Betrachtung“ ergibt sich für die baden-württembergische Automobilindustrie ein positiver Beschäftigungseffekt im Jahr 2020 in Höhe von knapp 17.000 Arbeitsplätzen. Arbeitsplatzverluste wird es in dieser Betrachtung im Bereich der Verbrennungsmotoren, der Starterbatterien sowie der Anlasser / Lichtmaschinen geben. In allen anderen Komponentenbereichen sind die Arbeitsplatz-

effekte positiv – insbesondere im Bereich der Effizienztechnologien sowie der Traktionsbatterien. In diesen beiden Komponentenbereichen spiegeln sich die weitere Optimierung von Verbrennungsmotoren sowie der hohe Aufwand für die industrielle Herstellung von E-Fahrzeug-tauglichen Batterien wider.

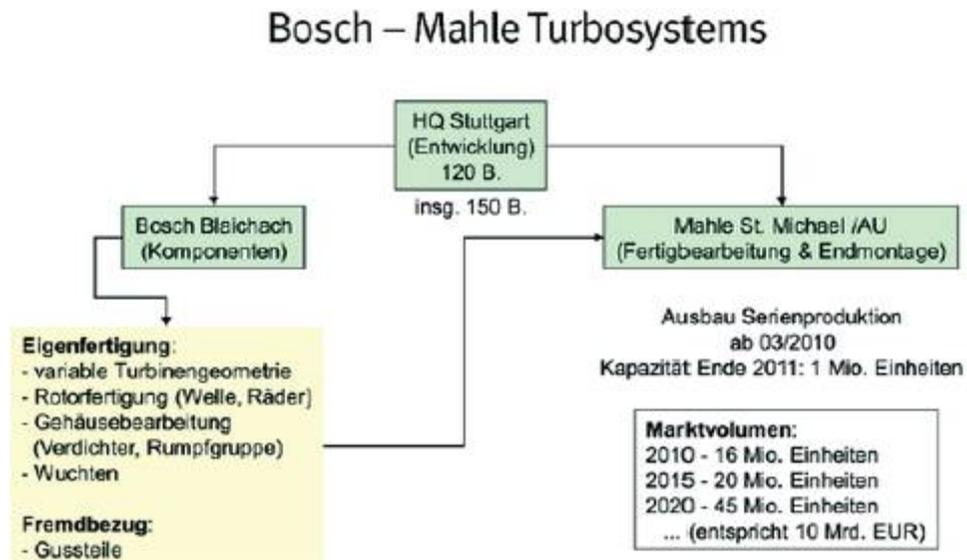
Solche Prognosen sind sehr voraussetzungs-voll: Voraussetzung für das Wirksamwerden positiver Beschäftigungseffekte ist, dass die industrielle Produktion dieser Komponenten auch in der jeweiligen Region, das heißt hier konkret im Land Baden-Württemberg, stattfindet. Ob es den heimischen Zulieferunternehmen gelingt, diese Produkte / Komponenten an den bisherigen Standorten zu industrialisieren, ist aus heutiger Sicht offen.

Bislang wird insbesondere im Bereich der Batterie zum Beispiel von Daimler davon ausgegangen, dass die Produktion in Sachsen stattfinden wird. Ende März 2010 ist zumindest die Entscheidung gefallen, dass die Elektromotoren für Hybrid- und E-Antriebe im Berliner Daimlerwerk (Marienfelde) angesiedelt wird.

Bosch steht im Rahmen des joint-ventures mit Samsung vor der Frage, ob die Zellenproduktion in Südostasien / China oder in Europa stattfinden soll. Wenn in Europa, dann in räumlicher Nähe zu den Abnehmerwerken der OEMs oder als für Europa zentrale Fertigung (ob in Baden-Württemberg, Niedersachsen oder im europäischen Ausland)? Desweiteren stellt sich die Frage, wo die Integration der Zellen in das Batteriesystem stattfinden wird. Geklärt ist, dass das Batteriemangement in Feuerbach entwickelt wird.

Bezogen auf die Optimierungsprozesse der Verbrennungsmotoren wurde für Turbolader ein joint venture zwischen Bosch und Mahle geschlossen. Dies vor dem Hintergrund des Wunsches verschiedener OEMs, auch einen europäischen Anbieter für diese Produkte und Technologien zu haben.

Abbildung 28: Bosch Mahle TurboSystems – Struktur des joint ventures



Quelle: Handelsblatt 04.02.2008; www.bmturbosystems.com / 30.03.2010, eigene Darstellung der Autoren

3.7 Qualifikationsanforderungen

Mit der Elektrifizierung des Antriebsstranges ergeben sich sowohl auf die Entwicklung als auch die Produktion von Komponenten des elektrischen Antriebes und der Nebennaggregate teils gänzlich neue, teils veränderte Anforderungen an Qualifikationen, an verfügbares Wissen sowie an Produktionsprozesse. Der E / E-Anteil (Elektrik / Elektronik) in den Fahrzeugen wird deutlich steigen. Die Wertschöpfung wird sich, so eine Annahme von Bosch, von 40 Prozent E / E-Anteil beim Fahrzeug mit Verbrennungsmotor auf 75 Prozent E / E-Anteil beim Elektroauto erhöhen (Bohr 2010). Darüber hinaus werden die elektronischen Systeme umfassender und aufwändiger über Software gesteuert werden. Gleichzeitig werden die Themen neue Werkstoffe und Leichtbauweise immer wichtiger, woraus sich ebenfalls neue Qualifikationsanforderungen ableiten.

Damit ist ein Wandel bei den Wissensbedarfen verbunden. Verbrennungsmotorenspezifisches Wissen über Thermodynamik und Werkstoffe wird zwar über einen langen Zeitraum weiterhin wichtig und notwendig sein, gleichzeitig rückt aber Wissen über elektrische Wirkprinzipien, Elektrotechnik und Elektrochemie zunehmend in den Vordergrund. Aus dem Wandel zur Elektromobilität abgeleitete Qualifikationsanforderungen liegen

- für Ingenieure vor allem in den Bereichen Elektrotechnik, Elektronik, Mechatronik, Elektrochemie, Energiemanagement, Thermomanagement, Steuerungs- /

Regelungstechnik, Leichtbau-Werkstoffe, Faserverbundtechnologie und Systemintegration;

- für Industrie-Facharbeiter vor allem in den Bereichen Mechatronik, Elektrotechnik (Umgang mit Hochvolttechnologie, elektrische Wirkprinzipien), Werkstoffverhalten sowie Prozesssicherheit bei neuen Produktionsprozessen und Qualitätssicherung bei neuen Produkten;
- sowie für Kfz-Techniker in Werkstätten vor allem im Umgang mit Hochvoltanlagen und elektronischen Analysesystemen.

Generell wird für die Automobilindustrie eine Tendenz der Erhöhung des Qualifikationsstandes der Belegschaften gesehen, so die Ergebnisse einer aktuellen Untersuchung in Bayern (Pfäfflin, Ruppert 2010). Ursache sind der Wegfall von Einfacharbeitsplätzen und die Zunahme bei Akademikern. Bei den Facharbeitern wird mit verbreiterten Qualifikationsanforderungen gerechnet: Entweder über das reine Fachwissen / -können hinaus in Richtung Prozesse / Qualität oder in Richtung Verbindung von Mechanik und Elektronik. Die Entwicklungsprozesse in Richtung Elektromobilität – so eine Einschätzung – würden wegen der grundlegenden Fragestellungen noch wissensintensiver, daher würden auch mehr Entwickler (Techniker / Ingenieure) benötigt. Punktuell ergeben sich auch Anforderungen in Richtung Chemie beziehungsweise neue Werkstoffe.

Als eine spezifische Qualifizierungsmaßnahme wird seit kurzem eine Weiterbildung zur Elektrofachkraft Fahrzeugtechnik mit einem anerkannten IHK-Abschluss angeboten, durch die sich Mitarbeiter aus der Automobilindustrie und aus dem Bereich Kfz-Werkstätten für das Arbeiten an Hybrid- und Elektrofahrzeugen qualifizieren können. Im Mittelpunkt dieser Weiterbildung stehen der Umgang mit Hochvolttechnik und der Arbeitsschutz. Auch in die Ausbildung zum Kfz-Mechatroniker wurde bei einem Automobilhersteller ein Technologiebaustein Hochvolttechnik integriert.

Alles in allem zeigen die im Rahmen der Studie durchgeführten Expertengespräche jedoch, dass das Thema zwar erkannt wurde und neue Qualifizierungsbedarfe gesehen werden. Aber eine Konkretisierung und die Entwicklung von umfassenden Qualifizierungskonzepten stecken noch in den Kinderschuhen. Was in einer Studie der IG Metall Gaggenau und der Hans-Böckler-Stiftung für die Umformtechnik, auf die Leichtbau und (langfristig) Elektromobilität einen entscheidenden Einfluss haben, geschrieben steht, gilt auch hier: „Nicht rechtzeitig oder nicht in der richtigen Qualität zur Verfügung stehende Kompetenzen (des Personals) verhindern gegebenenfalls das Ausschöpfen sämtlicher mit der Einführung neuer Technologien und Verfahren beabsichtigter Potenziale. Eine ‚Synchronisation‘ der Personalentwicklungsaktivitäten mit denen der Technologie-Planung ist daher angezeigt“ (Kleine et al. 2010: 85).

4. Potenziale der Elektromobilität in Baden-Württemberg

Energieeffizienz wird für die Automobilindustrie immer mehr zum alles beherrschenden Thema. Neben der Optimierung von Otto- und Dieselmotoren wird vor allem dem elektrischen Antriebsstrang eine steigende Bedeutung beigemessen. Während von vielen Experten postuliert wird, dass langfristig der elektrische Antrieb mittels Batterie und Brennstoffzelle dominieren wird, so differieren die Szenarien über die anteilmäßige Entwicklung der unterschiedlichen Antriebskonzepte über die nächsten Jahrzehnte erheblich.

Der technologische Wandel hin zur Elektromobilität ist – verbunden mit einem gesellschaftlichen Wandel bei Mobilitätskonzepten – als radikaler Systemwechsel für die weltweite Automobilindustrie und damit auch für den Automotive-Cluster in Baden-Württemberg zu betrachten. Dieser Wandel stellt Automobilhersteller, ihre Zulieferer und alle weiteren mit der Automobilwirtschaft verknüpften Branchen vor enorme Herausforderungen. Durch die Elektrifizierung des Antriebsstranges werden Wertschöpfungsanteile neu verteilt – sowohl zwischen entfallenden und neuen Komponenten als auch zwischen unterschiedlichen Akteuren. Mit der Einführung von elektromobilen Antriebskonzepten werden neue oder stark veränderte Bauteile benötigt, Anlagentechnologien und Fertigungsprozesse verändern sich, die Frage nach Fertigungskapazitäten stellt sich neu und nicht zuletzt werden sich neue Anforderungen an Ausbildung und Qualifizierung herausbilden. Elektromobilität eröffnet Unternehmen somit nicht nur Chancen, sondern stellt diese auch vor Herausforderungen. Die besondere Herausforderung für etablierte Akteure mit einer hervorragenden Kompetenz im verbrennungsmotorbasierten Antriebsstrang liegt in der Fortschreibung des erarbeiteten Wettbewerbsvorteils in der etablierten Technologie bei parallelem Aufbau von Kompetenz und Produktionskapazität hinsichtlich der alternativen Antriebe. Dem „Management des Wandels“ kommt damit eine besondere Bedeutung zu.

Bei den in der jüngeren Vergangenheit vorgelegten Studien zur Beschäftigungswirkung der Elektromobilität wurden die Beschäftigungseffekte maßgeblich quantitativ auf einem sehr aggregierten Niveau und über einen relativ kurzfristigen Zeitraum (Zeithorizont bis 2020) analysiert (vgl. Zusammenstellung in Fraunhofer IAO 2010). Die quantitativen Auswirkungen wurden bei diesen Studien meist mit einem angenommenen Vollzeitäquivalent / Produktionsumsatz-Verhältnis ermittelt (zum Beispiel ein Vollzeitäquivalent je 300.000 Euro Produktionsumsatz). Eine Wirkungsabschätzung auf Grundlage von Experteninterviews – bezogen auf die Region Stuttgart – zeigt, dass für eine „Arbeitsplätze-Bilanz“ in „mittel- bis langfristiger Perspektive viele Experten von negativen Beschäftigungswirkungen für die Region ausgehen“ (vgl. Dispan et al. 2009). Diese Fachleute meinen, dass Elektroautos mit geringerem Aufwand und technologisch weniger anspruchsvoll produziert werden können. In jedem Fall sind andere, zusätzliche, neue Qualifikationen gefragt, sowohl bei Entwicklung und Fertigung in der Automobilindustrie als auch bei Wartung, Reparatur und neuen Tätigkeiten im Kfz-, Elektro- und Metallhandwerk.

Jedoch wurden die Beschäftigungswirkungen in quantitativer wie qualitativer Hinsicht auf der Ebene vorhandener Produktionswerke bislang nicht analysiert. Alles in allem

besteht erheblicher Forschungsbedarf bei der Fragestellung, welche Beschäftigungseffekte mit dem technologischen Wandel zur Elektromobilität in Betrieben des Automotive-Clusters Baden-Württemberg zu erwarten sind.

Um Chancen und Risiken für die Beschäftigung im Automotive-Cluster Baden-Württemberg beurteilen zu können, werden im Rahmen der vorliegenden Studie Potenziale der Elektromobilität in Baden-Württemberg untersucht. Dabei wird auf eigens für das Forschungsprojekt im Jahr 2010 durchgeführte Expertengespräche und Recherchen sowie auf Ergebnisse der Strukturstudie BW^e mobil (Fraunhofer IAO 2010), des Strukturberichts Region Stuttgart 2009 mit dem Schwerpunkt „Umbruch in der Automobilregion“ (Dispan et al. 2009) und des EFI-Gutachtens zur Forschung, Innovation und technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands (EFI 2010) referenziert.

4.1 Strukturstudie BW^e mobil

Bei der vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg und von der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart in Auftrag gegebenen „Strukturstudie BW^e mobil – Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität“ werden die Chancen des Technologiewandels für die Unternehmen und für die Beschäftigung hervorgehoben. Kernergebnisse der Studie beziehen sich auf die Potenziale des Technologiestandortes und des Produktionsstandortes Baden-Württemberg für Elektromobilität:

„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“ (Fraunhofer IAO 2010: 3).

Im Vergleich zum bereits „hervorragend aufgestellten Technologiestandort“ gibt es beim Produktionsstandort noch Ausbaupotenziale, die aber aufgrund der diagnostizierten Stärken bei FuE durchaus erschlossen werden können. „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“ (Fraunhofer IAO 2010: 3).

Große Stärken Baden-Württembergs werden bei den Akteuren und Kompetenzen im Bereich der Elektromobilität gesehen: „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“ (Fraunhofer IAO 2010: 56).

Die Positionierung Baden-Württembergs hinsichtlich der einzelnen Kernthemen der Elektromobilität³¹ wird sehr positiv bewertet, wie folgende Auszüge aus der Strukturstudie BW^e mobil zur Batterietechnik belegen:

³¹ Als Kernthemen der Elektromobilität definiert die Strukturstudie BW^e mobil die fünf Technologiefelder Batterietechnik, Fahrzeugtechnik (mit Elektromotor und Leistungselektronik), Infrastruktur, Leichtbau und Brennstoffzelle.

Abbildung 29: Strukturstudie BW^e mobil zum „Kernthema Batterietechnik“

1. Batterietechnik:

- Forschungseinrichtungen: „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“ (Fraunhofer IAO 2010: 56). Das ZSW ist auch am „Elektrochemie Kompetenz-Verbund-Süd“ beteiligt. In diesem Verbund arbeiten weitere Forschungseinrichtungen aus Baden-Württemberg, wie das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), die Universität Ulm, das Max-Planck-Institut für Festkörperforschung sowie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Stuttgart. 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 Aufbau einer Fraunhofer-Projektgruppe „Neue Antriebe“ gefördert werden, mit dem Ziel, mittelfristig ein neues Fraunhofer-Institut im Land anzusiedeln.
- Unternehmen: SB LiMotive als „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). 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. 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. Auch die Varta Microbatteries 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.“
Fertigungstechnologien: Manx Automation AG (Reutlingen), M+W Zander (Stuttgart).
- „Die Batterie wird mit 30 bis 40 Prozent 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 Batterieforschungs- und Entwicklungsstandort zu nutzen, um auch Produktionsstätten im Land anzusiedeln. Es muss erklärtes Ziel sein, die gesamte „Wertschöpfungskette Batterie“ in Baden-Württemberg abzubilden“ (Fraunhofer IAO 2010: 58).

Quelle: Fraunhofer IAO 2010: 56-58

Neben den Kompetenzen bei der Batterie, der „unumstritten zentralen Komponente der Elektromobilität, ... kommt dem Elektroantrieb und der Leistungselektronik ebenfalls eine wichtige Bedeutung zu“ (Fraunhofer IAO 2010: 59). Auch bei diesen, dem „Kernthema Fahrzeugtechnik“ zugeordneten Bereichen, ermittelt die Strukturstudie BW^e mo-

bil zahlreiche Kompetenzen und Akteure. Bei den Forschungseinrichtungen werden das Forschungsinstitut für Kraftfahrzeugtechnik und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS), das Projekthaus e-drive in Karlsruhe als Forschungs Kooperation des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Daimler AG sowie das Zentrum für Leistungselektronik (Hochschule Reutlingen, Universität Stuttgart, Robert Bosch GmbH) hervorgehoben. Bei den Unternehmen werden die Robert Bosch GmbH und die SEW-Eurodrive GmbH & Co. KG exemplarisch genannt.

Auch bei den drei weiteren Kernthemen „Infrastruktur“, „Leichtbau“ und „Brennstoffzelle“ werden Akteure und Kompetenzen in Baden-Württemberg dargestellt. Bei der Brennstoffzelle wird auf die von der Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg und der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart 2009 veröffentlichte Studie „die Brennstoffzelle in der Region Stuttgart. Analyse und Ausbau der Wertschöpfungsketten“ verwiesen und resümiert, dass die Region Stuttgart „zu den weltweit bedeutendsten Forschungs- und Entwicklungszentren sowie Technologie- und Wirtschaftszentren auf dem Gebiet der Brennstoffzelle gehört“ (Fraunhofer IAO 2010: 61).

Laut der „zusammenfassenden Gesamtbetrachtung“ muss es der Anspruch sein, „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“ (Fraunhofer IAO 2010: 66).

4.2 Strukturbericht Region Stuttgart 2009

Im Strukturbericht Region Stuttgart 2009, der vom Verband Region Stuttgart, der IG Metall und den beiden Kammern herausgegeben wird, werden Wirkungen der Elektromobilität auf die Region analysiert. Dabei werden neben den Chancen auch die Risiken – insbesondere für Beschäftigung und für die Struktur der Wertschöpfungsketten – dieser disruptiven Technologie dargestellt.

Abbildung 30: Strukturbericht Region Stuttgart 2009: Auszug aus dem Kapitel „Wirkungsabschätzung auf Betriebe und Beschäftigung“

Der technologische Wandel zu rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen zeitigt starke Auswirkungen auf Unternehmen und Beschäftigung in der Region Stuttgart. Auf Joseph Schumpeter Bezug nehmend, kann von einer schöpferischen Zerstörung gesprochen werden. Die Zerstörung alter Strukturen durch Innovationen (Elektrifizierung des Automobils) führt dazu, dass Produktionsfaktoren neu geordnet werden. Schöpferische Zerstörung ist die Grundvoraussetzung für die dynamische Stabilität einer Wirtschaftsentwicklung. Radikaler Wandel hilft, eingefahrene Strukturen aufzubrechen und die wirtschaftliche Entwicklung voran zu treiben.

Dramatisch wird diese Entwicklung aus regionalwirtschaftlicher Sicht dann, wenn die Zerstörung in einer Region auftritt, die Substitutionsprodukte aber in einer anderen Region entstehen. Wenn die Region Stuttgart ihre führende Rolle in der Automobilindustrie dauerhaft sichern will, muss deshalb hier der Ort sein, wo die neuen Technologien entstehen und die Produktion durchgeführt wird. Ein starker, technologisch führender Automotive-Cluster bietet dafür zahlreiche Vorteile und Chancen. Aber auch Risiken, die hier zunächst ins Blickfeld gerückt werden sollen.

Baden-Württemberg und damit auch die Region Stuttgart beschreibt Gerhard Krauss als Prototyp eines regionalen Innovationssystems mit einem hohen Niveau an Institutionalisierung. Die Akteure des Innovationssystems scheinen bestimmte Wahrnehmungen und Interpretationen der technologischen und organisatorischen Wirklichkeit zu teilen und sich gegenseitig über ihren intensiven sozialen Austausch darüber laufend zu bestärken. Der Vorteil liegt darin, dass dadurch die Kooperation unterschiedlicher Akteure aus Unternehmen, Forschung und anderen Institutionen unterstützt wird. Auf der anderen Seite stabilisieren sich durch solche Netzwerke regionenspezifische Handlungs- und Innovationsmuster, die alternative und unkonventionelle Lösungsansätze behindern können.

Grundlegende Innovationen setzen immer eine Infragestellung etablierter Technologien, Lösungsansätze und Institutionen voraus. In Baden-Württemberg manifestierte sich insbesondere in „Situationen wirtschaftlichen Umbruchs, in denen die Akteure des badenwürttembergischen Innovationssystems offensichtlich Schwierigkeiten hatten, ihre Innovationsweisen flexibel und rasch den veränderten weltwirtschaftlichen Rahmenbedingungen anzupassen. (...)

In derartigen außergewöhnlichen Situationen förderten die Institutionen nicht selten gar noch eine Verstärkung der bisherigen Innovationslogiken und blockierten in gewisser Weise die nötige Anpassung“ (Krauss 2009). Was dazu führt, dass von den etablierten Netzwerken Inertiaeffekte (Trägheitseffekte) ausgehen können. Im Resümee zeigen sich „zwei Seiten des hohen Entwicklungsstandes des organisatorischen Feldes Innovationssystem Baden-Württemberg: Auf der einen Seite implizieren die institutionelle Dichte und der hohe Institutionalisierungsgrad eine einzigartige Akkumulation von Erfahrungswissen; auf der anderen Seite erschweren sie aber auch in ganz erheblichem Maße die Veränderung der bestehenden industriellen und institutionellen Ordnung, um neue Technologien, neue organisatorische Kompetenzen und neue Qualifikationen erschließen zu können.“ Auch Studien in anderen Regionen weisen auf die „Gefahren dicht geknüpfter, exklusiver Personalnetzwerke“ hin, die zu regionalen Entwicklungsblockaden („Lock-in-Effekt“) führen können. In einem Umfeld von „Verhinderungs-Allianzen“ entstehen strukturelle Verkrustungen, wie Gernot Grabher in seiner Studie „the weakness of strong ties“ am Beispiel des Ruhrgebietes darstellt. „Starke Netzwerke können sich also gerade in Zeiten dramatischen Wandels in ‚lock-ins‘ festfahren und zur Quelle mentaler Insularität und ökonomischer Retardierung werden“ (Berghoff; Sydow 2007).

Die Anfälligkeit für diese Risiken und Gefahren scheint im Automotive-Cluster der Region Stuttgart jedoch begrenzt zu sein. Es zeigt sich, dass Unternehmen der Region durchaus in die neuen Technologiefelder einsteigen, sei es durch eigene FuE-Anstrengungen, sei es durch Kooperationen mit Forschungseinrichtungen beziehungsweise durch Joint-Ventures mit spezialisierten Unternehmen. Auch eine große Stärke des Automotive-Clusters ist zu berücksichtigen: Die Grenzen des Clusters sind offen für Beziehungen nach außen, die Automobilhersteller und Zulieferer richten ihre Technik und ihre Produkte nicht nur auf regionale und nationale Märkte und Industrien aus. „Sie waren von Beginn an transferbereit und exportorientiert, das heißt in intensiver Wechselwirkung“ (Kaiser 2007). Beim Automotive-Cluster muss eher von einem Knoten in globalen Netzwerken als von einer abgegrenzten wirtschaftlich-technischen Entität gesprochen werden. Dem Cluster kann schon deshalb Stabilität und Wachstum zugeschrieben werden, weil er eine „eindeutig kritische Masse an unterschiedlichem ingenieurwissenschaftlichem Know-how, an Fertigungswissen, an ausgebildeten Fachkräften und an getätigten Investitionen ausgebildet hat und auf dieser Basis stets ‚Vorwärtsbewegung‘ organisiert hat. ... Langfristig entscheidend für den einzigartigen Charakter des Stuttgarter Automobilclusters könnte aber seine von Anfang an entwickelte Durchlässigkeit sein. ... Möglicherweise ist es gerade diese jahrzehntelang eingeübte Offenheit, die dem Stuttgarter Automobilcluster nicht nur das Überleben, sondern auch seine hohe Bedeutung garantiert“ (Kaiser 2007).

Flankierend zu diesen unternehmens- beziehungsweise clusterinternen Faktoren für Innovationsfähigkeit kommen verschiedene Initiativen von Organisationen aus dem Clusterumfeld. Beispiele für unterstützende Infrastruktur sind die von der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH eingerichtete Clusterinitiative Automotive Region Stuttgart (CARS) und einige regionale Kompetenz- und Innovationszentren, bei denen der Automotive-Bereich (mit) im Vordergrund steht.

Quelle: Dispan et al. 2009: 226-228

Die im Strukturbericht vorgenommene Wirkungsabschätzung des Technologiewandels hin zur Elektromobilität auf den Automotive-Cluster Region Stuttgart nimmt zum einen die Automobilhersteller und ihre Zukunftskonzepte in den Fokus, zum anderen die Zulieferer und ihre Konzepte und Reaktionen auf den Wandel. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang eine Wirkungsabschätzung auf die Beschäftigung im Automotive-Cluster Region Stuttgart. Insgesamt wird der mittel- bis langfristige technologische Wandel hin zu Elektromobilität starke Auswirkungen auf Unternehmen und Beschäftigung in der Region Stuttgart nach sich ziehen. Im Vergleich zum verbrennungsmotorisch betriebenen Auto benötigt ein Elektroauto weniger Teile. Es kommt ohne Getriebe, Verbrennungsmotor, Ansaugluft- und Abgasstrang aus, benötigt aber eine Luftführung, Kühlung, Fluidbehälter oder eine Batterielagerung. Durch die mögliche höhere Bordnetzspannung rücken Brake-by-Wire und Steer-by-Wire (also elektronisches Bremsen und Lenken) in den Fokus. Bremshydraulik und Lenksäulenmechanik gehören damit zu den langfristig aussterbenden Teileumfängen. Elektrische Radnabenmotoren machen Achslagerung, Verteilergetriebe, Kardanwellen und Differenziale in Zukunft überflüssig. Im konventionellen Auto sind im Antriebsstrang (Verbrennungsmotor und Getriebe) rund 1.400 Teile verbaut, im Elektroauto nur noch rund 210 Teile

(Elektromotor und vereinfachtes Getriebe). Alles in allem überwiegt beim Elektroauto also die Zahl der ersatzlos gestrichenen Teile. Als neue Komponenten und Systeme im Antriebsstrang kommen beim Elektroauto der Elektromotor, das Batteriesystem und die Leistungselektronik hinzu (Dispan et al. 2009: 231).

Elektromobilität bedeutet für die gesamte Wertschöpfungskette der Automobilwirtschaft starke Veränderungen. Das klassische Motorenwerk (das Verbrennungsmotoren herstellt) muss sich genauso umorientieren wie der etablierte Zulieferer im Bereich Powertrain. Und auch der automobilorientierte Maschinenbau, der in der Region Stuttgart besonders stark vertreten ist, steht vor großen Herausforderungen: In 30 Jahren müssen vielleicht kaum mehr Zylinder gefräst oder Kurbel- und Nockenwellen gedreht werden, beides Bereiche, in denen der regionale Werkzeugmaschinenbau weltweit führend ist.

Eine entscheidende Frage für Produktion und damit Beschäftigung in der Region Stuttgart ist mit der „Industrialisierung der Elektromobilität“ verbunden. Wo werden zukünftig die entscheidenden Systeme wie Batterie, Elektromotor, Brennstoffzellen-Stacks und Leistungselektronik entwickelt, wo werden sie gefertigt, wo findet die Systemintegration statt? Welche Zulieferer können ihre Kernkompetenzen und ihre Innovationsfähigkeit auf die neuen Anforderungen und Technologien transformieren? Welche Kompetenzen und Qualifikationen sind für die Entwicklung und Produktion von Elektrofahrzeugen notwendig? Können diese Qualifikationen in der Region Stuttgart bereitgestellt werden? Wie können gute Rahmenbedingungen für die „Industrialisierung der Elektromobilität“ in der Region Stuttgart gestaltet werden?

Es steht außer Frage, dass sich alle Akteure im Automotive-Cluster auf den technologischen Wandel einstellen müssen. Für die innovativen, technologisch starken Unternehmen der Region Stuttgart sieht die Mehrheit der im Rahmen des Strukturberichts befragten Experten durchaus auch Chancen, die sie nutzen können. Bei der Frage der Zukunft von Arbeitsplätzen – insbesondere in der Fertigung – stehen bei den meisten Experten jedoch die Risiken im Vordergrund. In mittel- bis langfristiger Perspektive gehen viele Experten von negativen Beschäftigungswirkungen für die Region aus. Dies betrifft in erster Linie die Anzahl der Arbeitsplätze (quantitative Dimension) und die weitere strukturelle Verschiebung von Fertigungs- zu Dienstleistungstätigkeiten. Aber auch die Qualität der Arbeit steht zur Debatte, schon allein, weil die neuen Technologien andere Anforderungsprofile für Facharbeit aufweisen und auch die erforderlichen Qualifikationen, zum Beispiel für die Montage von Elektromotoren, tendenziell geringer sind.

Alles in allem ist jedoch in langfristiger Sicht von erheblichen negativen Wirkungen auf die Beschäftigtenzahl im Automotive-Cluster der Region, insbesondere bei Arbeitsplätzen in der Fertigung und Montage, auszugehen. Für die CO₂-Bilanz von Fahrzeugflotten gibt es in der EU, aber auch weltweit, Regelungen – was bisher nicht in den Fokus gerückt wurde, ist die Arbeitsplätze-Bilanz von verschiedenen Fahrzeugkonzepten, die Hinweise zu Quantität und Qualität von Beschäftigung in der Mobilitätsindustrie geben und mithin auch Aussagen zur Zukunft der Arbeitsplätze im regionalen Automotive-Cluster machen kann.

4.3 EFI-Gutachten

Das von der deutschen Bundesregierung beauftragte Gutachten der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) greift in einem der fünf Kernthemen 2010 die Elektromobilität mit auf. Forschung und Innovation im Bereich der Elektromobilität werden darin kritisch untersucht. Besonders auf dem wichtigen Feld der Fahrzeugbatterien und auch in der fahrzeugbezogenen Leistungselektronik ist Deutschland demnach schlecht aufgestellt. „Die technische Entwicklung ist von Wissenschaft und Wirtschaft nicht korrekt eingeschätzt worden. Hier sind große Anstrengungen erforderlich, um den Anschluss an die technisch führenden Nationen zu finden“ (EFI 2010: 13). Betont wird, dass Deutschland bald Anschluss an die technologische Weltspitze finden muss; ansonsten sehen die Experten beim bevorstehenden Übergang zur Elektromobilität drastische Folgen für den Industriestandort Deutschland.

Abbildung 31: EFI-Gutachten: Auszüge aus dem Kapitel „Elektromobilität“

Wissenschaftlicher und technologischer Leistungsstand in Deutschland:

Die Expertenkommission hat sich davon überzeugt, dass die großmaßstäbliche Einführung eines batteriegetriebenen elektrischen Transportsystems technisch prinzipiell machbar ist. Dies betrifft insbesondere Lebensdauer, Zyklenzahl, Gewicht und Kosten der Batterien, inklusive deren Weiterentwicklungspotenzial; die Verfügbarkeit von Rohstoffen und die Machbarkeit einer weitgehenden Kreislaufwirtschaft der Materialien; die Möglichkeiten der Leistungselektronik und der elektrischen Antriebe; die energetische Kopplung der Fahrzeuge mit dem elektrischen Netz und der verstärkte Einsatz des Leichtbaus im Automobilbereich. ... Deutschland als ein führendes Land im konventionellen Automobilbau muss allerdings im Bereich der Elektromobilität erst wieder den Anschluss an das weltweite technologische Entwicklungsniveau finden, um von dem beschriebenen Paradigmenwechsel im Verkehrssektor profitieren zu können. Der Rückstand ist beträchtlich.

Defizite in Wissenschaft, Technologieentwicklung und Ausbildung:

Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität sind Fahrzeugbatterien, elektrische Motoren, mechanische Antriebsstränge, Leistungselektronik, Leichtbau im Fahrzeugbereich und die Infrastruktur für die Koppelung der Fahrzeugsysteme mit dem Elektrizitätsnetz (Laden und Entladen der Batterien zur Stützung des Netzes). Deutschland ist hier zumindest in dem besonders wichtigen Bereich der Fahrzeugbatterien schlecht aufgestellt. Im Bereich der Leistungselektronik hat Deutschland bestenfalls eine mittelmäßige Position. In beiden Fällen liegt die Forschungs- und Technologieführerschaft bei den asiatischen Nationen, insbesondere bei Japan, Korea und China.

In der letzten Dekade wurden an deutschen Hochschulen Lehrstühle in der Elektrochemie – der Grundlagendisziplin für die Batterietechnologie – in beträchtlichem Umfang nicht oder mit einer veränderten wissenschaftlichen Ausrichtung neu besetzt.

Bewertung der derzeitigen Situation in Deutschland:

Die Entwicklung hin zur Elektromobilität ist nicht nur aus den oben genannten Gründen notwendig und wünschenswert. Sie bietet im Prinzip auch ausgesprochen gute wirtschaftliche Chancen, insbesondere für ein Hochtechnologieland mit großem Innovationspotenzial wie Deutschland. Die Führungsposition Deutschlands im Automobilsektor basiert im Antriebsbereich auf der Technologie der Verbrennungsmotoren. Derzeit zeichnet sich noch nicht ab, dass eine ähnliche Position in der Elektromobilität erreicht werden kann. Andere Länder haben früher und massiver als Deutschland in die Elektromobilität investiert. Der größte Teil der Wertschöpfung bei kleineren Elektrofahrzeugen liegt bei Batterien (etwa 50 Prozent) und elektrischen Antriebssystemen, inklusive der Leistungselektronik (etwa 20 Prozent). In beiden Bereichen sind andere Länder besser aufgestellt als Deutschland. Dies zeigen unter anderem die Patentanalysen.

Quelle: Expertenkommission Forschung und Innovation 2010: 76-78

4.4 Potenziale und Risiken für Elektromobilität in Baden-Württemberg

Als Ergänzung zur Auswertung der Studien in den vorangegangenen Teilkapiteln stehen im Folgenden Potenziale und Risiken für die Industrialisierung der Elektromobilität in Baden-Württemberg im Zentrum – bezogen auf die Unternehmenslandschaft, also auf bestehende Betriebe im Bereich der automobilen Wertschöpfungskette und auf potenzielle „Wertschöpfungspartner“ im Bereich der Elektromobilität. Auf Grundlage der für die vorliegende Studie durchgeführten Expertengespräche mit Betriebsräten und Managern aus der Automobilindustrie sowie der Auswertung von Pressemitteilungen und der aktuellen Berichterstattung werden Stärken / Potenziale und Schwächen / Risiken für den Aufbau einer „elektromobilen Wertschöpfungskette“ in Baden-Württemberg stichwortartig aufgezeigt – im derzeit dynamischen Umfeld handelt sich um eine Momentaufnahme, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Im Fokus steht dabei die Landessicht, also der Blick auf Kompetenzen, auf Beschäftigung und auf Wertschöpfungsketten in Baden-Württemberg. Dabei wird nicht nur der Entwicklungs- und Technologiestandort, sondern auch der Produktionsstandort (sprich die Perspektive „Industrialisierung der Elektromobilität in Baden-Württemberg“) ins Blickfeld gerückt. Neuartige Komponenten, die bisher nicht in Automobilen verwendet wurden, müssen entwickelt, auf ihre Alltagstauglichkeit überprüft und in großer Stückzahl hergestellt werden. Im Folgenden werden die wesentlichen neuen Komponenten für Elektroautos, also elektrische Traktionsantriebe (E-Motor), Hochvolt-Batteriesysteme und Leistungselektronik, differenziert betrachtet. Neben den bestehenden Kenntnissen aus Mechanik, Mechatronik und Metallbearbeitung sind hier neue Kompetenzen aus Bereichen wie der Chemie, der Werkstoffkunde und dem Leichtbau notwendig. Etablierte Zulieferer im Antriebsstrang stehen vor der Herausforderung, neue Produkte und neue Geschäftsfelder entlang oder jenseits der automobilen Wertschöpfungskette zu erschließen. Gleichzeitig entstehen neue Märkte für Anbieter, deren Kunden zuvor nicht aus dem Automotivbereich kamen.

Für Brennstoffzellensysteme als weitere mögliche neue Komponenten liegt bereits eine Untersuchung vor (BzA-BW; WRS 2009), so dass darauf hier nur kurz eingegangen wird. Laut Landesregierung sind im „Bereich der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie im Land, besonders in der Region Stuttgart, gute Ausgangsbedingungen für eine geschlossene Wertschöpfungskette gegeben“ (Landtags-Drucksache 14/5934). Einen anderen Akzent setzt ein befragter Experte aus der Geschäftsführung eines Zulieferers: „Die Kernentwicklung für die Brennstoffzellentechnologie findet nicht unbedingt in Deutschland statt, sondern zum Beispiel in Kanada, wo die Stacks entwickelt werden. Das macht es nicht gerade einfach für uns Zulieferer, wenn die Anknüpfungspunkte für unsere Produkte in Übersee entwickelt werden“ (Exp.).

Weitere, zumindest in einer längeren Übergangszeit bedeutende Technologiefelder, liegen im Bereich der Hybridtechnologien. Auch auf diese wird im Folgenden nicht explizit eingegangen. Hier positionieren sich neben den Automobilherstellern auch Zulieferer, die aus dem konventionellen Antriebsstrang kommen. Ein Beispiel ist ZF Friedrichshafen, die Lösungen in verschiedenen Hybridleistungsklassen wie „Hybridsysteme für Nutzfahrzeuge“ (in einer Kooperation mit Continental) und einen „Hybridbaukasten für Pkw“ vom Mikro-Hybrid bis zum Vollhybrid entwickeln und anbieten.

Eine entscheidende Frage für den Automobilstandort Baden-Württemberg wird sein, inwieweit die neuen Komponenten entweder als markenprägende Kernkompetenzen oder als standardisierte Produkte ohne Differenzierungspotenziale (die als Commodities (Handelsware) gehandelt werden) definiert werden. Jedoch halten sich die OEMs im Hinblick auf elektrische Antriebe sehr bedeckt gegenüber ihren Zulieferern und signalisieren eher, die Komponenten erst einmal selbst entwickeln zu wollen. „Die OEMs halten heute die Kartenblätter sehr nah an der Brust“ (Exp.). Das Thema Differenzierung im Wettbewerb könnte, so einer der befragten Experten aus dem Management eines Zulieferers, zukünftig weniger über den Antriebsstrang als über Features im Innenraum und Infotainment erfolgen.

Alles in allem gibt es derzeit nur wenig belastbare Hinweise und viel Spekulation: Während die einen großen Automobilunternehmen die Traktionsbatterie als Differenzierungsmerkmal Nr. 1 im elektromobilen Zeitalter ansehen, gehen die anderen davon aus, dass bei Batterien die Skaleneffekte absolut entscheidend sind und hier kaum Spielräume für differenzierte, markenprägende Produkte bestehen. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Batterie als Commodity hierzulande gefertigt wird, ist als gering einzuschätzen. So ist auch die aktuelle Produktion von Lithium-Ionen-Batterien für den Konsumentenbereich in Asien konzentriert. „Die Produktionsstätten für elektrische Energiespeicher und Batterien konzentrieren sich noch auf den asiatischen Raum. Dennoch nimmt die Anzahl an Unternehmen in Baden-Württemberg, die sich dieser Thematik annehmen beziehungsweise in Kooperationen eintreten, stetig zu“ (LT-Drs. 14/5567 vom 9.12.09).

Ähnlich polarisiert wie bei der Traktionsbatterie sind die Ansichten beim Elektromotor: Kommt es zum Standardelektromotor oder zur Differenzierung? Die einen, wie zum Beispiel BMW, entwickeln die Elektromotoren selbst, um vermeintlich entscheidendes Know-how im Haus zu halten („Wir glauben an Differenzierung“, so BMW-Technik-Vorstand Klaus Draeger laut Stuttgarter Zeitung vom 28. April 2010). Andere halten den Elektromotor – etwas vorsichtiger – für „eher unterschätzt“, was Differenzierungsfragen betrifft; hier sei noch sehr viel „Basisarbeit“ für elektrische Autoantriebe erforderlich (Bosch-Kfz-Vorstand Dr. Bernd Bohr beim FKFS-Vortrag am 3. Mai 2010). Für andere Experten dagegen deutet vieles auf branchenweit einheitliche Elektromotoren ohne große Chance auf Differenzierung hin. „Bei Elektroantrieben wird das Thema Commodity in neue Dimensionen kommen“ (Exp.). Die dritte Schlüsselkomponente Leistungselektronik muss generell möglichst genau und möglichst klein sein – hier ist kaum eine markenprägende Differenzierung möglich.

In dieser Gemengelage können für Zulieferer (der neuen Komponenten im Antriebsstrang) Chancen entstehen, ihre Rolle in der automobilen Wertschöpfungskette zu stärken. Vorteile durch standardisierte Komponenten und Skaleneffekte können insbesondere Zulieferern aus der Großserienfertigung zugute kommen.

Elektromotor

Innerhalb der bestehenden Zulieferstrukturen im Automotive-Bereich ist auf dem Gebiet des Elektromotors die Robert Bosch GmbH hervorzuheben. Auch die ZF Friedrichshafen AG hat bereits Elektromotoren im Portfolio (bisher vor allem für Parallelhybridantriebe), die jedoch bei ZF Sachs in Schweinfurt (Bayern) produziert werden. Darüber hinaus positionieren sich weitere baden-württembergische Unternehmen im Bereich des Elektromotors für Hybrid- und rein elektrische Fahrzeuge:

- SEW Eurodrive (Bruchsal) erklärt das Thema Elektromotoren für Fahrzeuge, das nahe an der Kernkompetenz von SEW („driving the world“) liegt, zu einem strategischen Untersuchungsfeld für die Zukunft und stellt dafür entsprechende Ressourcen bereit.
- Wittenstein (Igersheim) präsentiert auf der Leitmesse „MobiliTec“ im Rahmen der Hannover Messe 2010 „High-End-Anwendungen in der Elektromobilität“ (Antriebstechnik, Entwicklung und Fertigung elektromechanischer Hochleistungsantriebe zum Einsatz in Elektro- und Hybridfahrzeugen) und positioniert sich damit als „neuer Partner“ im Bereich der Elektromobilität. Ziel von Wittenstein ist es, sich „im Leitmarkt der Elektromobilität als Technologieführer im Bereich mechatronischer High-End-Antriebslösungen für die emissionsfreie und hochdynamische Fortbewegung in Fahrzeugen zu positionieren“.
- Stöber Antriebstechnik (Pforzheim) entwickelt und produziert antriebstechnische Komponenten vom Elektromotor bis zur Leistungselektronik. Mit Systemlösungen und mit neu entwickelten Servomotoren will sich Stöber „auch in Sachen Elektromobilität“ positionieren und den Automotive-Bereich als neuen Abnehmer erschließen.
- Kienle & Spiess (Sachsenheim) ist ein bedeutender Hersteller von Stanz- und Druckgussteilen für den Bau elektrischer Maschinen und Generatoren. Mit innovativen Produktionsverfahren (Klebe-Paketierverfahren „glulock“) bietet Kienle & Spiess „Lösungsansätze und Komponenten für die Mobilität der Zukunft“, die auf der Sonderschau „E-Motive“ bei der Hannover Messe 2010 der Fahrzeugindustrie vorgestellt wurden.
- Heinzmann (Schönau) bietet gemeinsam mit seiner Tochterfirma Perm Motoren für den Markt der Elektromobilität an und will zu einem führenden Hersteller im Bereich der elektrischen und hybriden Antriebslösungen werden.

Ein Risiko für regionale Wertschöpfung im Bereich der Elektromotoren ist mit der Frage verbunden, ob Elektromotoren für Fahrzeuge als Commodity gehandelt werden und so potenziell zur Importware werden (siehe oben). Fern dieser entscheidenden Frage gab es Ende März einen Wermutstropfen für den Elektromobilitäts-Standort Baden-Württemberg: Daimler traf seine Standortentscheidung für ein Elektromotorenzentrum in Berlin. Die Entwicklung und Produktion eines Elektromotors für den Hybridantrieb (Investition von 40 Millionen Euro) außerhalb Baden-Württembergs könnte Zeichen setzen, die für den Produktionsstandort von Nachteil sind.

Batteriesysteme

Im Gebiet der Traktionsbatterien beziehungsweise der Batterietechnik sind im Unternehmensbestand beispielsweise die Firmen Varta Microbattery GmbH (Ellwangen), auf die noch näher eingegangen wird, und Leclanché Lithium GmbH (Willstätt) als Tochter der Schweizer Leclanché AG zu nennen. Dazu kommen die in den letzten Jahren gegründeten Joint Ventures mit baden-württembergischer Beteiligung: SB LiMotive (Bosch, Samsung) mit einem FuE-Zentrum für Batteriesysteme in Stuttgart sowie Li-Tec Battery GmbH und Deutsche Accumotive GmbH (jeweils Daimler und Evonik). Für die Batteriefertigung von Daimler (in den Joint Ventures mit Evonik) sind Standortentscheidungen zugunsten von Kamenz / Sachsen gefallen. Dort wird die Lithium-Ionen-Batteriezellen-Fertigung durch Li-Tec Battery und ab 2012 die Produktion kompletter Autobatterien durch die Deutsche Accumotive stattfinden. Sitz und Entwicklungszentrum der Deutschen Accumotive ist jedoch in Nabern im Landkreis Esslingen.

Neben den genannten Unternehmen und Joint Ventures positionieren sich weitere baden-württembergische Unternehmen im Bereich rund um die Batterietechnik und verwandte Systeme für Elektroautos:

- Atmel (Heilbronn): Anbieter von Halbleitern für die Automobilindustrie. Mikrochips für das Batteriemangement von Elektrofahrzeugen werden von Atmel in Heilbronn entwickelt.
- Behr (Stuttgart): Entwicklung von Thermomanagement (Kühlung, Heizung) für Lithium-Ionen-Batterien.
- Eberspächer (Esslingen): Entwicklung von Beheizungskonzepten auf Basis motorunabhängiger Systeme für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben.
- M+W Group (Stuttgart) als großer, internationaler Anlagenbauer steigt in die Thematik „Lithium-Ionen-Batteriezellenfertigung“ ein und entwickelt Konzepte für eine wettbewerbsfähige Großserienfertigung (als modulare Fabrik).
- Varta Microbattery (Ellwangen): Erforschung leistungsfähiger Lithium-Ionen-Batterien für Elektrofahrzeuge (in Kooperation mit VW, Joint Venture seit 1. Dezember 2009). Dazu eine Pressemitteilung des Bundeswirtschaftsministeriums vom 3. Mai 2010: Aus dem Förderschwerpunkt „Speicher“ werden rund 12 Millionen Euro für die „Förderung eines für Deutschland besonders bedeutsamen Forschungsprojektes des Unternehmens ‚VW / Varta Microbattery Forschungsgesellschaft‘ bereit gestellt. Ziel dieses Vorhabens ist es, die Entwicklung von Lithium-Ionen Batterien voranzutreiben und die Voraussetzung für eine Produktion und Vermarktung dieser Technologie in Deutschland zu schaffen. ... Die Realisierung einer Großserienfertigung in Deutschland muss jetzt schnell geschehen, um den Schlüsselsektor Automobilproduktion in unserem Land zu stärken. Hier fügt sich das Forschungsvorhaben der Firma ‚VW / Varta Microbattery Systems‘ gut ein. Das Vorhaben ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg, Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität zu machen.“ Es scheinen sich neue Optionen auch in Bereichen zu eröffnen, die bis vor kurzem als reine Forschung und Entwicklung zu bezeichnen waren: „In Baden-Württemberg sind Fertigung und Produktionsbeschäftigung im Bereich der Batterien für Elektroautos bestenfalls eine Zukunftsvision. Die Frage nach den Produktionsstandorten ist bestenfalls offen. Man muss sich der Realität stellen und einfach sehen, dass die Batterieindustrie ganz stark in Asien verankert ist“ (Exp.).

Tatsächlich konzentrieren sich die „Produktionsstätten für elektrische Energiespeicher und Batterien noch auf den asiatischen Raum. Dennoch nimmt die Anzahl an Unternehmen in Baden-Württemberg, die sich dieser Thematik annehmen beziehungsweise in Kooperationen eintreten stetig zu“ (Landtags-Drucksache 14/5567). Wie bereits bei den Elektromotoren ist auch bei den Traktionsbatteriesystemen ein großes Risiko für regionale Wertschöpfung mit der Frage verbunden, ob diese als Commodity gehandelt werden und so zur Importware werden (siehe oben). Eine entscheidende Frage hierbei ist, ab welchem Punkt in der Fertigungsabfolge die Batterie zur Kernkompetenz von OEM erhoben wird. Beschäftigungsrisiken für Baden-Württemberg sind absehbar, wenn nur die Systemintegration beim Anbieter (sei es OEM oder Zulieferer) erfolgt und der größte Anteil der Wertschöpfung nicht in Baden-Württemberg verankert ist. Vor allem bei den Batteriezellen besteht ein hohes Risiko, dass der Großteil der Wertschöpfung und damit die Beschäftigungseffekte nicht hierzulande stattfinden, so ein befragter Experte, weil diese ein wenig komplexes Produkt sind, für dessen Herstellung zudem sehr große Automatisierungsmöglichkeiten bestehen.

Leistungselektronik

Im Bereich der Leistungselektronik ist auf Know-how-Potenziale aus anderen in Baden-Württemberg bedeutenden Wirtschaftszweige, wie zum Beispiel im Werkzeugmaschinenbau und in der Antriebstechnik, zu verweisen. Neue Potenziale für das Gebiet der Leistungselektronik werden mit dem 2010 gegründeten Robert-Bosch-Zentrum für Leistungselektronik mit Standorten in Reutlingen und Stuttgart, einem in Deutschland einzigartigen Forschungs- und Lehrverbund, geschaffen.

Entlang der drei wesentlichen Komponenten Elektromotor, Batteriesystem und Leistungselektronik wurden die Potenziale für Elektromobilität in Baden-Württemberg exemplarisch aufgezeigt. Die produktbezogene Sicht auf diese Schlüsselkomponenten ist jedoch nur die eine Seite der Medaille („Produktkompetenz“). „Produktionskompetenz“ ist die andere Seite der Medaille – Anspruch muss sein, nicht nur kleinere Serien, sondern Groß- und Massenserien fertigen zu können. Und das ist ohne einen leistungsfähigen und gleichzeitig wandlungsfähigen Maschinen- und Anlagenbau nicht möglich. Und ganz wesentlich kommt hinzu, dass sowohl für die Entwicklung neuer Produkte als auch für die Beherrschung der Produktionsprozesse die Kompetenzen der Beschäftigten vom Ingenieur bis zum Facharbeiter einen entscheidenden Schlüsselfaktor darstellen.

5. Thesen und Schlussfolgerungen

Elektromobilität wird als ein entscheidender Beitrag zu Klimaschutz und Abgasreduzierung diskutiert. Es geht um alternative Antriebe, ein Feld, das mit verschiedenen Entwicklungspfaden verbunden ist. Bei den Akteuren aus Politik und Industrie besteht hohe Unsicherheit, welcher Pfad sich als dominant herausstellen wird, zu welchen Zeitpunkten größere Ablösungstendenzen und vor allem in welchem Volumen eintreten werden.

Die industriellen Akteure bereiten sich vor und beschäftigen sich mit der Markteinführung von Elektroautos. Die Zulieferer, von denen die meisten der Komponenten für Elektroantriebe kommen werden, positionieren sich mit entsprechenden Produkten. Die Zulieferer von Komponenten für Verbrennungsmotoren setzen – so scheint es – zunächst auf eine weitere Dominanz des Verbrennungsmotors.

Mit der staatlich unterstützten Orientierung auf Elektromobilität deutet sich eine weitere Strukturveränderung an (ob nun als Technologiebruch oder als Zeitwende tituliert), die zu allen anderen strukturellen Veränderungen der Industrie hinzukommt (Veränderungen der Wachstumszentren, Veränderungen der internationalen Arbeitsteilung / Verlagerung, Veränderungen der Verteilung der Wertschöpfung, Kapazitätsanpassungen). Sie sind verbunden mit neuen Akteuren, neuen technischen Lösungen, neuen Herausforderungen an die Infrastruktur wie auch Chancen und Risiken für Beschäftigung.

Absehbar ist die Restrukturierung von Aggregatewerken der Automobilhersteller ebenso wie von Zulieferern, die Komponenten für den Verbrennungsmotor herstellen. Die Annahme von der Dominanz des Verbrennungsmotors noch über Jahre hinaus ist kein Ruhekit, da die Ablösungsmechanismen in den Prognosen mehr oder weniger beschleunigt deutlich werden. Ob und in welcher Intensität Restrukturierung im Rahmen des sozialen Dialogs frühzeitig antizipiert und bearbeitet wird, wird die zukünftige Entwicklung zeigen. Die grundlegenden Strukturen sind dafür gelegt (siehe AoC³²), sie müssen nur genutzt werden. In Deutschland sind mit der Unternehmensmitbestimmung gute Voraussetzungen vorhanden.

Abschließend werden die Ergebnisse der Studie „Wirkungen der Elektromobilität auf regionale Wertschöpfungsketten und auf Beschäftigung in Baden-Württemberg“ in Form von Thesen zusammengefasst.

1. **Wandel beim Antriebsstrang und bei Fahrzeugkonzepten beschleunigt sich:** Downsizing und Optimierung des Verbrennungsmotors werden von einer zunehmenden Elektrifizierung des Antriebsstranges begleitet. Der Systemwechsel zur Elektromobilität ist langfristig angelegt, der Verbrennungsmotor

³² Forschungsprojekt „Anticipation of Change in the Automotive Industrie“ (AoC) für den Europäischen Metallgewerkschaftsbund und den europäischen Verband der Automobilzulieferer.
www.anticipationofchange.eu

wird auch 2020 die dominante Antriebsform sein. Starke Änderungen der Rahmenbedingungen können den Diffusionsprozess von Elektroautos jedoch wesentlich beschleunigen.

2. **Automobilhersteller (OEMs) „erfinden das Automobil zum zweiten Mal“:** Die Autohersteller gehen davon aus, dass das Automobil in einer sehr langfristigen Sicht elektrisch fahren wird, dass aber der Verbrennungsmotor für die nächsten 20 Jahre (also auch noch bis 2030) seine dominante Rolle behalten wird.

Die weitere Optimierung des Verbrennungsmotors ist für die OEMs schon allein durch die Treiber CO₂-Gesetzgebung und Klimaschutzregelungen erforderlich. Hier greifen vor allem die sogenannten Downsizing-Strategien (kleinere Motoren mit Turboaufladung). Gleichzeitig verfolgen alle großen OEMs eine Hybridisierungs- und Elektrifizierungsstrategie und müssen ihre Entwicklungsbudgets damit auf alle Felder verteilen. Im Zentrum der „reinelektrischen“ Konzepte steht bei den meisten OEMs der batterieelektrische Antrieb. Die Wasserstoff- und Brennstoffzellenantriebe rücken eher in den Hintergrund, ohne dass diese Antriebsvariante jedoch vollständig aufgegeben wird.

Da insbesondere die deutschen OEMs den Hybridantrieb in den letzten Jahren angesichts der Vorteilhaftigkeit des Dieselantriebes vernachlässigt haben, erfolgt derzeit eine aufholende Entwicklung sowie parallel die Entwicklung und Präsentation von Elektroantrieben. Letzteres noch vor allem in Konzeptfahrzeugen im Premiumbereich – es fehlt noch ein eigens für den Elektroantrieb entwickeltes Fahrzeugkonzept im Kleinwagensegment (purpose design).

3. **Bei Zulieferern ist ein breites Spektrum von proaktiven Konzepten bis zur Zurückhaltung zu erkennen:** Eine differenzierte Betrachtung der Zulieferer ist notwendig. In der Regel steigen eher die großen Systemlieferanten und „neue Spieler“ wie zum Beispiel Siemens aus Non-Automotive-Bereichen (mit Kompetenzen zum Beispiel bei Batterietechnik, Elektromotor, Leistungselektronik) proaktiv in die Thematik ein. Diese Zulieferer zeichnen sich durch hohe Produktkompetenzen aus. KMU-Zulieferer und Tier-2-Lieferanten, die in der Regel weniger über eine hohe Produkt-, sondern meist über eine hohe Prozesskompetenz verfügen, verharren eher in einer zurückhaltenden Position.
4. **Prozesskompetenz und flexible Fertigungen:** Prozesskompetenz sowie die Flexibilität der Fertigungen bilden einen entscheidenden Aspekt der Wettbewerbsfähigkeit. Das Know-how zu industriellen Produktionsprozessen, ihre Organisation und die flexible Gestaltung der Fertigungs- und Arbeitsprozesse zeichnen insbesondere die deutschen Unternehmen aus. Dieses etablierte Produktionsmodell basiert auf einer sogenannten „high-road“-Strategie, das heißt gute Arbeitsbedingungen, hohe Bezahlung und hochqualifizierte Facharbeiter verbunden mit langfristiger Beschäftigungssicherheit (abgesichert zum Teil auch durch längerfristige Beschäftigungsvereinbarungen).
5. **Elektroantrieb als disruptive Technologie:** Für viele Automotive-Komponenten vor allem im Antriebsstrang würde der Systemwechsel zur Elektromobilität das Ende ihres Lebenszyklus bedeuten. Zulieferer von Powertrain-Komponenten, die wegfallen oder die sich stark verändern, müssen sich recht-

zeitig darauf einstellen und Strategien entwickeln, wie sie im Automotive oder – über ihre bisherige Kundenstruktur hinausgehend – im Nicht-Automotive-Bereich Geschäftsfelder erschließen können.

6. **Diversifizierung wird zaghafte begonnen:** Die Erschließung von Geschäftsfeldern im Nicht-Automotive-Bereich wird von einigen großen Zulieferern, die über eine breite Produktpalette verfügen, eher zaghafte in Angriff genommen. Erkannt wurde, dass die alleinige Abhängigkeit vom Automobil hohe Risiken birgt und dass die vorhandenen Kompetenzen (zum Teil auch Produkte) auch für andere Branchen oder Geschäftsfelder nutzbar sind. Als Schwerpunkt dieser neuen Geschäftsfelder kristallisiert sich der Bereich der Umwelttechnologien heraus (Energieerzeugung, Windkraft). Andererseits haben viele hoch spezialisierte Zulieferer Schwierigkeiten, die eng auf den Antriebsstrang zugeschnittenen Kompetenzen und Produkte für andere Geschäftsfelder nutzbar zu machen. Hier fehlen Ideen.
7. **Wertschöpfungsketten werden neu sortiert:** Der Systemwechsel geht in den nächsten Jahren mit einer Reorganisation der Wertschöpfungsketten einher. Derzeit ist die Situation für Zulieferer schwierig, auch weil die OEMs „sich nicht in die Karten schauen lassen“ – es ist schwer abzuschätzen, welche Kernkompetenzen die OEMs für sich definieren und welche Systeme oder Komponenten zugekauft werden sollen. Dies erschwert die Strategieentwicklung von Tier-1-Zulieferern, vor allem sind jedoch Zulieferer aus den Tier-2 und Tier-3-Bereichen abgeschnitten von Informationen. Dadurch geraten etablierte Zulieferer ins Hintertreffen und Kompetenzen aus der bestehenden Automotive-Wertschöpfungskette können nicht erschlossen werden, weil die entsprechenden Unternehmen vom OEM beziehungsweise Systemlieferanten abgeabelt sind.
Zur Reorganisation der Wertschöpfungsketten gehört auch das Auftreten neuer Akteure als Zulieferer beziehungsweise als Entwicklungs- und Geschäftspartner der Automobilindustrie. Dazu gehören sowohl Start-ups (zum Beispiel aus dem Softwarebereich), dazu gehören aber auch renommierte Unternehmen aus der Energiewirtschaft und der Chemischen Industrie (Batterieherstellung).
8. **Wirkungen auf Beschäftigung bisher ungewiss:** Die zu erwartenden Beschäftigungswirkungen einer schrittweisen Ablösung des Verbrennungsmotors durch rein elektrische Antriebe sind schwierig abzuschätzen. Beschäftigungswirkungen beziehen sich zum einen auf die Veränderung des quantitativen Arbeitsvolumens (und damit der Zahl der Beschäftigten) sowie zum anderen auf Veränderungen in den Qualifikationsanforderungen und Tätigkeiten in Forschung, Entwicklung und Produktion.
Die zentrale Größe für die Beschäftigungswirkungen ist die Geschwindigkeit des Ablösungsprozesses oder anders formuliert: Zu welchen Zeitpunkten erreichen rein elektrische Antriebe welche Marktanteile in welchen Fahrzeugsegmenten – wie hoch wird 2015, 2020, 2025, 2030 die Anzahl von Fahrzeugen sein, die rein elektrisch (batteriebetrieben oder mit Brennstoffzelle ausgestattet), mit Hybrid- oder auch mit Wasserstoffantrieb ausgestattet sind?

Aus heutiger Sicht und nach Einschätzung verschiedener „Experten“ wird der Verbrennungsmotor über längere Zeit dominante Antriebsart bleiben (siehe oben). Neben dem Verbrennungsmotor werden sich in den nächsten fünf bis zehn Jahren vor allem Hybridantriebe (in unterschiedlicher Form) im Markt etablieren, während gleichzeitig rein elektrische Antriebe beginnen, sich im Markt umzusetzen. Das Ziel der Bundesregierung, bis 2020 eine Million E-Fahrzeuge auf deutschen Straßen zu haben, wird von vielen Fachleuten als sehr ambitioniert bewertet. Dieses Ziel sei nur zu erreichen, wenn die Rahmenbedingungen stimmen, das heißt eine entsprechende Infrastruktur entstanden ist und vor allem der Kauf von E-Fahrzeugen staatlich subventioniert wird. Bislang hat sich die Bundesregierung noch zu keiner staatlichen Förderung durchgerungen, so dass hier eine entscheidende Unbekannte liegt.

Erste Einschätzungen der quantitativen Beschäftigungswirkungen wurden in der Metastudie des Fraunhofer IAO (2010) „BW^e mobil“ gerechnet. Für diese Metastudie wurden die vorliegenden Prognosen verschiedener Consulting-Unternehmen ausgewertet und die prognostizierten weltweiten Marktanteile der verschiedenen Antriebsarten im Jahr 2020 zugrunde gelegt. Dann erfolgte die stark vereinfachende Annahme, dass Baden-Württembergs Automobilindustrie 5 Prozent Weltmarktanteil repräsentiert (Deutschland 25 Prozent) - daraus wurden dann die Beschäftigungseffekte für Baden-Württemberg rechnerisch ermittelt. Beim Versuch, diese Ergebnisse von Experten aus anderen Instituten und Unternehmen bestätigen zu lassen, ergab sich keine eindeutige und bestätigende Rückmeldung.

Abbildung 32: Arbeitsplatzwirkungen – abgeleitet aus der Metastudie BW^e mobil

	Veränd. Umsatz weltweit in Mio. EUR	Veränd. Umsatz bei 5% Anteil	Veränd. Umsatz bei 25% Anteil	Veränd. Arbeitsplätze bei 300 T€ Prod.Umsatz	
	2020	BaWü 2020	DE 2020	BaWü 2020	DE 2020
Verbrennungsmotor	-11.051,5	-552,6	-2.762,9	-1.674	-8.372
Effizienztechnologien	43.385,0	2.169,3	10.846,3	6.573	32.867
Abgasanlage	5.961,2	298,1	1.490,3	903	4.516
Getriebe, Kupplung	5.966,4	298,3	1.491,6	904	4.520
Tanksystem	74,5	3,7	18,6	11	56
Starterbatterie	-76,9	-3,8	-19,2	-12	-58
Lenkung, Klima	7.397,2	369,9	1.849,3	1.121	5.604
Anlasser, Lichtmaschine	-154,0	-7,7	-38,5	-23	-117
E-Maschine	10.636,3	531,8	2.659,1	1.612	8.058
Motor-Controller	7.095,8	354,8	1.773,9	1.075	5.376
Leistungselektronik	3.984,3	199,2	996,1	604	3.018
sonst. Elektronik	3.106,1	155,3	776,5	471	2.353
Traktionsbatterie	33.435,0	1.671,7	8.358,7	5.066	25.330
Ladegerät	2.109,9	105,5	527,5	320	1.598
	111.869,3	5.593,5	27.967,3	16.950	84.749

Quelle: IAO 2010: 46 f.

Kritisch anzumerken ist an diesen Ergebnissen, dass die aktuelle Struktur der automobilen Weltwirtschaft einfach fortgeschrieben wird, obwohl sich zum Beispiel mit den chinesischen Herstellern im Bereich der E-Antriebe bereits Wettbewerber auf dem Weltmarkt etabliert haben (sowohl Fahrzeuge wie Batterien). Ob die Automobilindustrie Baden-Württembergs im Jahr 2020 noch einen fünfprozentigen Anteil am Weltmarkt haben wird, ist ebenso ungewiss. Aus der Landesperspektive kommt es bei entsprechenden Berechnungen darauf an, die heimischen Strukturen von Herstellern und Zulieferern zur Ausgangsbasis zu nehmen und letztlich auch die Frage zu beantworten, bei welchen Unternehmen welche Komponenten wegfallen werden und bei welchen Unternehmen und an welchen Standorten die neuen Komponenten produziert werden (Stichwort: Industrialisierung von Elektroantriebs-Komponenten).

Das Beispiel Lithium-Ionen-Batterieproduktion in Baden-Württemberg soll diese Fragestellung illustrieren: Positive Arbeitplatzeffekte wird die industrielle Fertigung von Lithium-Ionen-Batterien für Baden-Württemberg erst dann ergeben, wenn im Land eine entsprechende Produktion aufgebaut wird. Dabei stellt sich gleichzeitig die Frage, welche Teile der Produktion im Land überhaupt stattfinden. Umfasst die Produktion die Zellfertigung oder sind es letztlich nur die Endmontage der Zellen, die Batterieelektronik sowie die abschließenden Tests?

Desweiteren spricht aus heutiger Sicht einiges dafür, dass es bei der Batterietechnologie auf den Einsatz von Li-Ion-Batterien hinauslaufen wird. Andererseits gibt es mittlerweile aber auch schon Batterien, die diese Technologie modifiziert haben und im Ergebnis Batterien verfügbar sind, die deutlich leistungsfähiger und deutlich leichter sind – gemeint sind die „Kolibri“-Batterien des Berliner Start-ups DBM Energy GmbH (vgl. Handelsblatt vom 09.03.2010).

9. **Hybridantriebe – eine Brückentechnologie?** Die Meinungen der Branchen- wie auch Unternehmensexperten gehen hier deutlich auseinander. Während die einen davon ausgehen, dass Hybridantriebe keine wesentlichen Vorteile gegenüber dem Dieselantrieb haben (ein wesentlicher Grund, warum die deutschen Hersteller Hybridantriebe lange Zeit nicht verfolgt haben), sehen andere im Hybridantrieb die mittelfristig überlegene Technologie, die es neben Emissionsreduzierungen und dem partiellen rein elektrischen Fahrbetrieb ermöglicht, den Weg zur reinen Elektromobilität zu ebnen, zu erproben (Erfahrungen zu sammeln) und Entwicklungsleistungen voranzutreiben, bis die technologischen sowie politischen Probleme erkennbar als gelöst betrachtet werden können. Technologisch ist – so die herrschende Meinung³³ – das Batterieproblem und damit das Problem der begrenzten Reichweite zu lösen (zu teuer, zu schwer, zu wenig leistungsstark); politisch ist der Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur zu lösen (E-Tankstellen im öffentlichen wie privaten Raum).

³³ Siehe hierzu die weiter oben gegebenen Hinweise zur Batterietechnologie von DBM Energy, Berlin, die eine Batterie entwickelt haben, die sehr deutliche Vorteile gegenüber herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien hat (kleiner, leichter, leistungsstärker) und zum Beispiel einem E-Golf eine Reichweite von 500 Kilometern ermöglichen soll.

Andere Experten stellen ins Zentrum der Betrachtung die gesamte Elektrifizierung des Fahrzeuges und subsumieren darin alle Arten von elektrischem Antrieb im Fahrzeug – sowohl bezogen auf die E-Maschine wie den elektrischen Antrieb von Komponenten und Aggregaten, die bislang hydraulisch gesteuert werden. Stichwort ist hier: power on demand, das heißt Energieverbrauch nur dann, wenn Energie benötigt wird wie beispielsweise bei der elektrischen Lenkung. Im Rahmen dieser Elektrifizierungsperspektive wird es über einen langen Zeitraum ein Nebeneinander von Antriebsvarianten geben – auch einen langen Lebenszyklus des Hybridantriebes.

Eine sehr langfristige Perspektive zum Beispiel bis zum Jahr 2050 birgt aus heutiger Sicht so viele Unwägbarkeiten, Unsicherheiten und Unschärfen, dass es dem Blick in die gläserne Kugel gleichkommen würde, wollte man hier Konkretes aussagen. Es gibt so viele technologische und politische Einflussfaktoren im Hinblick auf den Antriebsstrang und seine Entwicklung, dass sich mit einer Innovation in der Batterietechnologie, bei Elektromotoren oder durch politische Entscheidungen zur staatlichen Förderung der Kaufpreise alle möglichen Basisannahmen von Prognosen und Szenarien als obsolet erweisen können.

6. Literaturverzeichnis

- A.T.Kearney (2009): Sparsam, sauber, elektrisch? Das Rennen um den Antrieb der Zukunft. Die Automobilindustrie auf dem Weg zu Nachhaltigkeit und Elektrifizierung. Düsseldorf.
- Arthur D. Little (2009): The coming transformation of the automotive industry (M. Winterhoff, C. Kabner, S. Schnurrer, C. Ulrich) in Prism 2-2009, S. 73-89.
- Automobil-Produktion: Auswertung der Zeitschrift ab Jahrgang 2007.
- Bain & Company (2010): E-Mobility-Studie: Bis 2020 hat die Hälfte aller neuen Autos einen Elektroantrieb (Pressemitteilung, München / Zürich 26.02.2010).
- Berghoff, Hartmut; Sydow, Jörg (2007): Unternehmerische Netzwerke. Eine historische Organisationsform mit Zukunft? Stuttgart.
- BMU (2009): Konzept eines Programms zur Markteinführung von Elektrofahrzeugen – 1. Schritt: Marktaktivierung von 100.000 Elektrofahrzeugen bis 2014, Berlin, 15.09.2009 (Folien und Textbeitrag).
- BMU (2009): Elektromobilität – Aspekte für die Erarbeitung eines nationalen Entwicklungsplans in Deutschland, Mathias Samson, BME, Referat Umwelt und Verkehr, 06.02.2009.
- BMVBS, BMBi, BMWi (2006): Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (16 S.), Bonn / Berlin.
- BMW (2009): Elektromobilität – Fortbewegung der Zukunft in: Monatsbericht 11-2009; S. 21-26.
- BMW, BMBi, BMU, BMBF, BMELV (2009): Auszug aus dem Bericht an den Haushaltsausschuss Konjunkturpaket II, Ziffer 9 Fokus „Elektromobilität“. Berlin (10.03.2009).
- Bohr, Bernd (2010): Vielfalt beherrschen: Der lange Weg zum elektrischen Fahren. Foliensatz vom 3.05.2010. Universität Stuttgart.
- Bundesregierung (2008): Sachstand und Eckpunkte zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität – Nationale Strategiekonferenz Elektromobilität, Berlin, 25. / 26. Nov. 2008.
- Bundesregierung (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. Berlin (August 2009).
- BzA-BW; WRS – Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg; Wirtschaftsförderung Region Stuttgart (2009): Die Brennstoffzelle in der Region Stuttgart. Analyse und Ausbau der Wertschöpfungsketten. Stuttgart.
- CARS 21 (2008): Mid-Term Review High Level Conference – Conclusions and Report, EU COM DG Enterprise and Industry: Automotive, 29.10.2008. Brüssel.
- DB Research (Deutsche Bank Research) (2009): Automobilindustrie am Beginn einer Zeitenwende, Beiträge zur europäischen Integration (EU-Monitor 62), Frankfurt / Main, 06.02.2009.

- Diez, Willi (2009): Die Zukunft der Automobilindustrie – Zeitenwende oder business as usual, Vortrag zum 4. Treffpunkt Automotive, 02. Dez. 2009, Stuttgart-Messe.
- Dispan, Jürgen; Krumm, Raimund; Seibold, Bettina (2009): Strukturbericht Region Stuttgart 2009. Entwicklung von Wirtschaft und Beschäftigung. Schwerpunkt: Umbruch in der Automobilregion. Stuttgart.
- Dispan, Jürgen; Stieler, Sylvia (2006): Automotive-Clusterreport 2006. Fahrzeugbau in der Region Karlsruhe. Stuttgart (= IMU-Informationdienst Nr. 1/2006).
- EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation (2010): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands. Berlin.
- Fraunhofer IAO (2010): Strukturstudie BW^e mobil. Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität. Stuttgart.
- Fraunhofer ISI (2009): Lithium für Zukunftstechnologien. Stuttgart 2009.
- Grammel, Ralf; Seibold, Bettina (2003): Automobil-Clusterreport 2003. Trends der Automobilindustrie. Aktuelle Herausforderungen für die Kfz-Zulieferer der Region Stuttgart. Stuttgart.
- IG Metall (2010): Das E-Qualifizierungssystem ist am Start. Frankfurt.
- Iwer, Frank; Dispan, Jürgen; Grammel, Ralf; Stieler, Sylvia (2002): Strukturwandel und regionale Kooperation. Arbeitsorientierte Strukturpolitik in der Region Stuttgart. Marburg.
- Kaiser, Walter (2007): Regionales Cluster oder globaler Knoten? Automobiltechnik im Raum Stuttgart. In: Berghoff, Hartmut; Sydow, Jörg (Hrsg.): Unternehmerische Netzwerke. Stuttgart, S. 175-195.
- Kampker, Achim (2009): Wege zur Serientauglichkeit elektrischer Antriebskomponenten; E-Motive Expertenforum „Elektrische Fahrzeugantriebe“, 09. / 10.09.09 Hannover.
- Kleine, Oliver; Kinkel, Steffen; Som, Oliver; Bräunlich, Hans; Kräusel, Verena (2010): Zukunftsfähige Technologie- und Innovationsstrategien in hoch spezialisierten Industrieregionen. Eine exemplarische Studie am Beispiel der Umformtechnik in der Region Rastatt / Gaggenau. Stuttgart.
- Krauss, Gerhard (2009): Baden-Württemberg als Prototyp eines regionalen Innovationssystems: Eine organisationssoziologische Betrachtungsweise. In: Blättel-Mink, Birgit; Ebner, Alexander (Hrsg.): Innovationssysteme. Wiesbaden.
- LT-Drs – Landtag von Baden-Württemberg, verschiedene Drucksachen aus der 14. Wahlperiode.
- Mathoy, Arno (2008): Die Entwicklung bei Batterien und Antriebstechnik für Elektroautomobile in: Bulletin SEV/VSE 1/2008.
- McKinsey (2006): Road transport: will electricity take over from oil? EURELECTRIC Annual Conference, Oslo, 12. / 13. Juni 2006 (20 Folien).
- McKinsey (2009): Roads toward a low-carbon future: Reducing CO2 emissions from passenger vehicles in the global transportation system, May 2009.
- Naunheimer, Harald (2009): Das Elektrofahrzeug – Chancen für Zulieferer; E-Motive Expertenforum „Elektrische Fahrzeugantriebe“, 09. / 10.09.09 Hannover.

- O. Wyman (2009) Elektromobilität 2025, Presseinformation, München 09. Sept. 2009.
- Pfäfflin, Heinz; Ruppert, Willi (2010): Herausforderung Technologiewandel Automobil für die Kfz-Zulieferindustrie im Raum Mittelfranken: Einschätzungen der betrieblichen Akteure. Nürnberg.
- Radtke, Philipp; Abele, Eberhard; Zielke, Andreas (2004): Die smarte Revolution in der Automobilindustrie. Frankfurt.
- Richter, Ursula; Lutz Reichelt (2005): Auswirkungen der Brennstoffzellentechnologie auf die KFZ-Zuliefererindustrie in der Automobilregion Südwestsachsen, AH 39 der Otto-Brenner-Stiftung, Berlin.
- Roland Berger (2008): Powertrain 2020 – How future technology will drive supplier opportunities (Juergen Reers), Detroit, 14.04.2008.
- Roland Berger (2009): Powertrain 2020 – China's ambition to become market leader in E-Vehicles, München / Shanghai, April 2009.
- Roland Berger (2009): Powertrain 2020 – The Future Drives Electric; Study by Michael Valentine-Urbschat und Dr. Wolfgang Bernhart, Sept. 2009.
- Roland Berger Insight (2009): A Look Around the World, E-mobility – China wants to lead the world market for electric cars, Automotive Insight 2-2009, München.
- Schirrmeister, Elna; Marscheider-Weidemann, Frank; Wengel, Jürgen (2002): Auswirkungen des Einsatzes der Brennstoffzelle im Kraftfahrzeug auf die Industrie Nordrhein-Westfalens – Szenarien für die Einführung und spezielle Chancen in Nordrhein-Westfalen. Karlsruhe.
- Steiger, Wolfgang (2009): Antriebskonzepte der Zukunft – Die Perspektive von Volkswagen; DGB Fachtagung „Elektromobilität“, 6.02.2009, Hannover.
- Syndex (2009): Low carbon vehicles: Potential impact on employment by 2030 (Foliensatz). Paris.
- Transport and Environment (2009): How to Avoid an Electric Shock – Electric Cars from Hype to Reality, European Federation for Transport and Environment, Brussels.
- VDA (2008): VDA-Position zur Elektromobilität, Frankfurt a.M., 14.11.2008.
- VDA (2008): Agenda Mobilität 2020 – Beiträge der Automobilindustrie zu einer nachhaltigen Verkehrspolitik, Frankfurt a.M.
- VDMA (2010): Elektromobilität – Chancen und Herausforderungen für den Maschinenbau (VDMA-Nachrichten 02/2010, Sonderdruck Elektromobilität).
- Wallentowitz, Henning; Freialdenhoven, Arndt; Olschewski, Ingo (2010): Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges. Technologien, Märkte und Implikationen. Wiesbaden.
- Wengel, Jürgen; Schirrmeister, Elna (2000): Innovationsprozess vom Verbrennungsmotor zur Brennstoffzelle. Chancen und Risiken für die baden-württembergische Industrie. Karlsruhe.
- Wind, Jörg (2009): Elektrifizierung des Automobils, Daimler AG. Vortrag auf dem F-Cell Symposium, Stuttgart, 29.09.2009.