

Jürgen Dispan

Elektromobilität: Schlüsselfaktor Qualifikation

Ergebnisse der ELAB-Studie zu Kompetenz-
anforderungen und Qualifikationsbedarfen

Heft 1/2013

IMU Institut



Informationsdienst

ISSN 1611-8391
ISBN 978-3-934859-40-1

Elektromobilität: Schlüsselfaktor Qualifikation.
Ergebnisse der ELAB-Studie zu Kompetenzanforderungen und Qualifikationsbedarfen.

Informationsdienst des IMU-Instituts – Heft 1 / 2013

Verfasser: Dr. Jürgen Dispan
jdispan@imu-institut.de

Herausgeber: IMU Institut Stuttgart
Hasenbergstraße 49
70176 Stuttgart
Tel.: 0711 / 23 70 5-0
Fax: 0711 / 23 70 5-11
Email: imu-stuttgart@imu-institut.de

ELAB-Projekträger: Hans-Böckler-Stiftung
IG Metall Baden-Württemberg
Daimler AG

Redaktionsschluss 30.06.2012

Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG	1
2.	KOMPETENZANFORDERUNGEN IM WANDEL	3
2.1	Vorbemerkung: Entwicklungstrends der Industriearbeit	3
2.2	Veränderungen durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs	6
2.3	Bedeutungszunahme Elektronik	7
2.4	Gewichtsverlagerung hin zu Montagearbeit	8
2.5	Umgang mit Hochvolt-Systemen	14
2.6	Nationale Plattform Elektromobilität – Folgerungen für Qualifizierung	16
2.7	Arbeitsschutz und arbeitswissenschaftlich relevante Veränderungen	18
3.	AUSBILDUNG	21
4.	WEITERBILDUNG	26
5.	KOMPONENTENSPEZIFISCHE QUALIFIKATIONSERFORDERNISSE	29
5.1	Batterie	29
5.2	Elektromotor	32
5.3	Leistungselektronik	36
5.4	Brennstoffzellensystem	39
6.	BILDUNGSINFRASTRUKTUR IN DER STANDORTUMGEBUNG	42
6.1	Vorbemerkung zum Begriff „Standortumgebung“	42
6.2	Bedarfsanalyse Bildungsinfrastruktur	45
7.	ARBEITSMARKT UND DEMOGRAFISCHER WANDEL	48
8.	RESÜMEE UND AUSBLICK	52
9.	LITERATURVERZEICHNIS	58

1. Einleitung

Wie verändert sich die Beschäftigung in der Automobilindustrie durch den technologischen Wandel zur Elektromobilität? Am Beispiel der Produktion von Antriebssträngen wurde dies im Forschungsprojekt „Elektromobilität und Beschäftigung (ELAB)“ untersucht.¹ ELAB wurde vom Gesamtbetriebsrat der Daimler AG initiiert und gemeinsam mit dem Unternehmen auf den Weg gebracht. Mit der Bearbeitung wurden drei Forschungsinstitute beauftragt: das Fraunhofer IAO, das IMU Institut Stuttgart und das DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte; Projektträger waren die Hans-Böckler-Stiftung, die Daimler AG und die IG Metall Baden-Württemberg.

Die Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf die Beschäftigung wurden beim ELAB-Projekt in quantitativer und in qualitativer Hinsicht untersucht. Neue Kompetenzanforderungen und Qualifikationserfordernisse durch Elektromobilität stehen im Zentrum dieses Beitrags. Doch zuvor ein Blick auf die quantitativen Ergebnisse: Anhand von vier ELAB-Szenarien – mit einem jeweils unterschiedlichen Mix verschiedener Antriebskonzepte vom optimierten Verbrennungsmotor über den Hybrid- bis zum batterieelektrischen und Brennstoffzellenantrieb – werden Arbeitsplatzefekte bis 2030 dargestellt. Durch das Nebeneinander verschiedener Antriebskonzepte und einem jeweils relativ hohen Anteil von Hybridautos (mit der Kombination aus Verbrennungsmotor und elektrischem Antrieb) ergibt sich bis 2030 eine stabile bis steigende Arbeitsplatzanzahl in der Produktion von Antriebssträngen. Bei der reinen Gegenüberstellung eines konventionellen Fahrzeugs mit einem Elektroauto würde die Beschäftigungsbilanz jedoch negativ ausfallen. Gleichzeitig kann es in den nächsten Jahrzehnten zu tiefgreifenden Veränderungen innerhalb der Wertschöpfungskette kommen.

¹ Die ELAB-Ergebnisse liegen sowohl in Form einer zusammenfassenden Broschüre, herausgegeben von der Hans-Böckler-Stiftung (www.boeckler.de) (Bauer, Dispan, Friedrich, & et al., 2012), sowie auch als ausführlicher Projekt-Abschlussbericht (www.imu-institut.de) (Fraunhofer IAO, IMU Institut, & DLR Institut für Fahrzeugkonzepte, 2012) vor.

Methodische Vorgehensweise

Die auf Kompetenzanforderungen und Qualifikationserfordernisse von Beschäftigten in der Antriebsstrangproduktion bezogene, qualitative Wirkungsanalyse, durchgeführt vom IMU Institut, steht im Zentrum dieser Veröffentlichung von ELAB-Ergebnissen. Forschungsleitende Fragestellungen des entsprechenden ELAB-Arbeitspaketes waren:

- Wie verändern sich Kompetenzanforderungen im Technologiewandel?
- Welche Qualifikationen von Beschäftigten sind für die Produktion von neuen Antriebssträngen erforderlich?
- Wie können Institutionen der Standortumgebung den Technologiewandel durch eine Verbesserung von Standortfaktoren unterstützen?
- Welchen Einfluss haben Arbeitsmarkt und demografischer Wandel?

Für die Bearbeitung dieser Fragestellungen wurden verschiedene qualitative Methoden der sozialwissenschaftlichen Forschung angewendet. Die entsprechende qualitative Wirkungsanalyse basiert im Wesentlichen auf einem Methodenmix aus folgenden drei Bausteinen:

- (1) auf der Analyse von Komponenten und Prozessen in den vorangegangenen ELAB-Arbeitspaketen, aus denen Kompetenzanforderungen und Qualifizierungsbedarfe abgeleitet werden,
- (2) auf leitfadengestützten Expertengesprächen² zur weiteren Informationsgewinnung, Vertiefung und Validierung. Expertengespräche wurden geführt mit Akteuren aus Unternehmen (OEM und Zulieferer aus den Bereichen Batterie, Elektromotor, Leistungselektronik, Brennstoffzellensystem), aus Forschungsinstituten und aus weiteren Institutionen, die im Themenfeld „Elektromobilität und Bildung“ aktiv sind. Insgesamt wurden 25 Experten ausführlich „face-to-face“ befragt. Flankierend wurden Telefoninterviews mit 10 Experten durchgeführt,
- (3) auf der Sekundäranalyse von Literatur und weiteren Dokumenten, wie z. B. Tagungsbeiträgen, Unternehmensinformationen aus dem Internet, etc. (siehe Literaturverzeichnis).

² Ergebnisse und Zitate aus Expertengesprächen, auf die explizit referenziert wird, sind im Text durch den Zusatz „Exp.“ kenntlich gemacht.

2. Kompetenzanforderungen im Wandel

Bevor auf die empirischen Ergebnisse der ELAB-Analyse, also die speziell aus der Elektrifizierung des Antriebsstrangs resultierenden Kompetenzanforderungen, eingegangen wird, sollen einfürend die Entwicklungstrends der Industriearbeit und der damit einhergehende Wandel bei Qualifikationsanforderungen allgemeiner betrachtet werden.

2.1 Vorbemerkung: Entwicklungstrends der Industriearbeit

Dem Produzierenden Gewerbe und damit insbesondere Industrie und Handwerk kommt in Deutschland eine Schlüsselstellung zu. Einen wichtigen Beitrag für den wirtschaftlichen Erfolg leistet zum einen die Entwicklung neuer Produkte. „Aber erst die Herstellung und der erfolgreiche Absatz dieser Produkte sind entscheidend für Wertschöpfung und damit für den Wohlstand der Gesellschaft“ (Abele & Reinhart, 2011, S. 6). Das Produzierende Gewerbe stellt eine Vielzahl von Arbeitsplätzen. 7,7 Mio. Beschäftigte sind direkt in diesem Sektor tätig. Dazu kommt die Schrittmacherfunktion der produzierenden Unternehmen als wichtige Nachfrager und Impulsgeber für produktionsnahe Dienstleistungen, wie z. B. Engineering, Datenverarbeitung, Logistik, Beratung. Mithin kommen nochmals mehr als 7 Mio. Arbeitsplätze im Dienstleistungssektor hinzu, die eng mit dem Produzierenden Gewerbe verknüpft sind. Gut 95 % der Exporte und rund 90 % der FuE-Aufwendungen der deutschen Wirtschaft entfallen auf das Verarbeitende Gewerbe. Trotz des vielfach propagierten Wandels von der Industrie- zur Dienstleistungsgesellschaft zeigen die Fakten: „Die Produktion ist das Rückgrat des deutschen Wohlstands“ (Abele & Reinhart, 2011, S. 7). Und gerade auch in der zurückliegenden Wirtschaftskrise hat sich die deutsche Wirtschaftsstruktur bewährt (Allespach & Ziegler, 2012).

Vor diesem Hintergrund einer herausragenden Bedeutung der Industrie untersuchte das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), welche aktuellen und zukünftigen Veränderungen der Arbeit in der Industrie Handlungsbedarfe für die Bildungs-, Wirtschafts- und Innovationspolitik nach sich ziehen könnten. Der entsprechende TAB-Zukunftsreport betrachtet die ELAB-Thematik nicht explizit, sondern geht übergreifend auf Entwicklungen wie Internationalisierung, innere Tertiärisierung, veränderte Formen der Arbeitsorganisation ein, die das Handeln und die Wertschöpfung der Industriebetriebe in Zukunft verstärkt beeinflussen werden.

Die aus der TAB-Studie „Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends in der Industriearbeit“ abgeleiteten, auch für ELAB relevanten Entwicklungstrends der Industriearbeit und daraus resultierende neue Kompetenzanforderungen, werden im Folgenden stichwortartig zusammengefasst (Kinkel, Friedewald, Hüsing, Lay, & Lindner, 2008):

- Die fortschreitende Internationalisierung führt im Inland zu Bedeutungsgewinnen der koordinierenden Tätigkeiten sowie der dienstleistenden und beratenden Tätigkeiten für Auslandswerke bzw. den internationalen Werksverbund, verbunden mit einer höheren Gewichtung von interkulturellen Kompetenzen und internationaler Kommunikationsfähigkeit. Auf Ebene der Produktionsbeschäftigten wird eine zunehmende Erweiterung der Tätigkeiten um qualitätssichernde und kontrollierende Aufgaben erwartet. Gleichzeitig werden einfache Tätigkeiten für Geringqualifizierte zukünftig noch stärker als bislang entweder verlagert oder hochautomatisiert und damit weniger personalintensiv weiterhin in Deutschland durchgeführt.
- Die Tendenz zu mehr Dienstleistungstätigkeiten in produzierenden Industrieunternehmen („innere Tertiarisierung der Industriearbeit“) wird zukünftig wohl weiter fortschreiten. Insbesondere ein Ausbau produktbegleitender Dienstleistungen (Service, Schulungen, etc.) wird erwartet, verbunden mit einem erhöhten Bedarf an Beschäftigte mit Hochschul- oder Technikerabschluss, während an- und ungelertes Personal seltener benötigt wird. Gleichzeitig könnte die innere Tertiarisierung dazu führen, dass die in vielen Betrieben existente Integration von produzierenden und dienstleistenden Tätigkeiten bei einzelnen Beschäftigten wieder zurückgeführt wird und eine „Desintegration von Produktions- und Dienstleistungstätigkeiten“ bei der Fachkraft Raum greift.
- Eine der wichtigsten Bedingungen für eine zukünftig wettbewerbsfähige Produktion ist es, den Beschäftigten den Erwerb neuer Kompetenzen während der Arbeitszeit zu ermöglichen und sie flexibel einsetzen zu können.
- Neue Formen der Arbeitsorganisation werden im Rahmen Ganzheitlicher Produktionssysteme erforderlich. Industriearbeit in selbstverantwortlichen Gruppen könnte laut TAB-Zukunftsreport eine neue Dynamik bekommen. In welche Richtung sich die Konzepte Ganzheitlicher Produktionssysteme weiterentwickeln sollte genau beobachtet werden, um zukünftige neue Kompetenzanforderungen und Qualifikationsbedarfe rechtzeitig aufgreifen zu können.

Als Fazit der TAB-Studie „Arbeiten in der Zukunft“ wird auf ein „besorgniserregendes doppeltes Dilemma“ hingewiesen:

„Auf der einen Seite werden einfache und wenig know-how-intensive Tätigkeiten, die von geringqualifizierten Beschäftigten ausgeführt werden können, zukünftig noch deutlich weniger als bereits bislang von der produzierenden Industrie nachgefragt werden. Auf der anderen Seite ist absehbar, dass der steigende Bedarf an Hochschulabsolventen zunehmend schwieriger gedeckt werden kann“ (Kinkel, Friedewald, Hüsing, Lay, & Lindner, 2008, S. 24).

Insgesamt ist zu konstatieren, dass das Monitoring von technologischen und gesellschaftlichen Veränderungen wie auch der politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen von essentieller Bedeutung für Unternehmen ist. Im Rahmen des Technologie- und Strukturwandels wird das Antizipieren von Veränderungen auf betrieblicher Ebene durch die betrieblichen Akteure vom Personalbereich bis zur Interessenvertretung immer wichtiger, wie nicht zuletzt das europäische Projekt „Anticipation of Change in the Automotive Industry“ zeigt (Jürgens, Loire, McKiernan, & et al., 2009). Ziel dieses Projekts war die Identifizierung von Antizipationsmechanismen in Unternehmen und Regionen zur frühzeitigen Erkennung eines technologischen und/oder gesellschaftlichen Strukturwandels. Dazu wird konstatiert, dass vor allem die Themen Ausbildung und Weiterbildung zu kurz kommen – „sie werden oft nur über einen Zeitraum von zwei Jahren beobachtet. Nur in Einzelfällen wird der künftige Bedarf an Kompetenzen und Qualifikationen über Kompetenz-Managementsysteme bewertet und entsprechend geplant. Nicht beantwortet wird dabei, wie in zehn Jahren Tätigkeitsprofile aussehen könnten, welche Auswirkungen innovative Entwicklungen haben und welche Anforderungen für die Weiterbildung daraus entstehen“ (Meißner, 2010, S. 3).

Identifizierte Qualifikationslücken gilt es vor allem durch die Integration von Qualifikationen in bestehende Berufsbilder und durch entsprechende Weiterbildungsmaßnahmen zu schließen. Was in einer Studie zu „zukunftsfähigen Technologie- und Innovationsstrategien in hoch spezialisierten Industrieregionen“, beauftragt von Hans-Böckler-Stiftung und IG Metall, 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, Kinkel, Som, Bräunlich, & Kräusel, 2010, S. 85). Für die längerfristige Betrachtung von Kompetenzanforderungen, künftigen Qualifikationsbedarfen und Maßnahmen der Aus- und Weiterbildung im Sinne der angesprochenen „Synchronisation“ soll die vorliegende Studie Hinweise liefern.

2.2 Veränderungen durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs

Nach dem allgemeinen Einstieg sei der Blick nunmehr auf das Themenfeld Elektromobilität gerichtet: Im Zuge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs verändern sich auch die Kompetenzanforderungen an die Beschäftigten entlang der elektromobilen Prozesskette von Forschung und Entwicklung (FuE) über Produktion und Service bis zum Recycling. Im Fokus der ELAB-Betrachtung liegen die neuen Kompetenzanforderungen für die Produktion von Komponenten für den alternativen Antriebsstrang, also in erster Linie von Batterien, Elektromotoren und Leistungselektronik sowie Brennstoffzellensystemen. Aber auch die Produktion konventioneller Antriebsstränge ist mit erweiterten Kompetenzanforderungen konfrontiert. Aus der weiteren Optimierung der konventionellen Komponenten Verbrennungsmotor und Getriebe resultieren Produktionsprozesse mit hohen Genauigkeits- und Reinraumanforderungen, die eine entsprechende Sorgfalt der Mitarbeiter/innen und Qualifikationen rund um Reinraumtechnologien erfordern. Gleichzeitig werden neue Werkstoffe und Leichtbauweise für den gesamten Automotive-Bereich, also über den reinen Antriebsstrang hinaus, als Themen immer wichtiger, woraus sich ebenfalls neue Kompetenzanforderungen für Facharbeiter und Entwickler ableiten (Dispan & Meißner, 2011).

These:

Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs

verändert **Kompetenzanforderungen**,

verschiebt **Qualifikationsprofile** und

generiert **Weiterbildungsbedarf**

entlang der gesamten Prozesskette

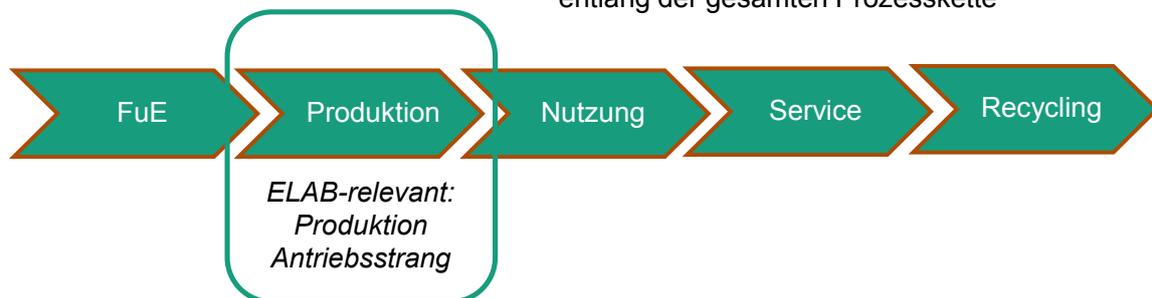


Abbildung 1: Prozesskette „Elektrifizierung des Antriebsstrangs“

2.3 Bedeutungszunahme Elektronik

Infolge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Automobilen werden sich die Wertschöpfungsanteile im Antriebsstrang deutlich von Metall/Mechanik (M/M) hin zu Elektrik/Elektronik (E/E) verschieben. Bosch geht z. B. davon aus, dass sich der E/E-Anteil an der Wertschöpfung im Kraftfahrzeug von 40 % beim Fahrzeug mit Verbrennungsmotor auf 75 % beim Elektroauto erhöht (Bohr, 2011). Allein die Lithium-Ionen-Batterie als Energiespeicher hat – so eine Modellrechnung des Zulieferers ZF – im Jahr 2020 einen Wertanteil von knapp 40 % am Elektroauto-Endpreis. Dazu kommen der Elektromotor und die Leistungselektronik mit 10 % Wertanteil (Nauenheimer, 2011). Darüber hinaus werden die elektronischen Systeme umfassender und aufwändiger über Software gesteuert. Bereits diese massiven Verschiebungen der Wertschöpfung zeigen, dass hinter der Elektrifizierung des Antriebsstrangs nicht nur eine neue Motorisierungsvariante steckt, sondern ein grundlegender Systemwechsel in der Automobilindustrie. Der Elektroantrieb könnte sich als disruptive Technologie erweisen (Deutsches Dialog Institut, 2011). Die „neue Welt der e-Mobilität (gehört zu den) das laufende Geschäft kannibalisierenden, disruptiven Innovationen, die längerfristig zweifellos die größeren Chancen bieten, die wir aber auch ganz anders ‚managen‘ müssen“ (Christensen, Matzler, & von den Eichen, 2011, S. VI). Bei den Automobilherstellern herrscht weitgehend Einigkeit, dass Hybrid- und Elektroantriebe mittel- bis langfristig den klassischen Verbrenner ablösen werden. Dazu einige Statements aus den Reihen deutscher Automobilhersteller und -zulieferer (Dispan, Krumm, & Seibold, 2009, S. 209):

„Das Auto der Zukunft fährt elektrisch.“

„Wir haben das Automobil erfunden, jetzt erfinden wir es neu!“

„Die Zukunft, das ist sicher, wird den emissionsfreien Elektroantrieben gehören.“

„Der Trend zur Elektromobilität ist unumkehrbar.“

...

Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass es nicht zu einem „Umbruch über Nacht“ kommt, sondern dass im Automobil Verbrennungsmotoren noch längere Zeit dominant bleiben und dass die Zukunft der Individualmobilität auf viele Jahre hinaus von einem Nebeneinander verschiedener Antriebstechnologien und Energieträger geprägt sein wird.

Gleichwohl sind Beschäftigte bei Autoherstellern und bei Zulieferern aufgrund des bevorstehenden Technologie- und Strukturwandels „nicht ohne Grund verunsichert. Steckt doch sehr viel Know-how bei der Automobilherstellung in der Metallbe- und -verarbeitung. Allein schon die maschinelle Herstellung von Motoren, Getrieben und deren Teilen würde einem starken Wandel unterliegen“ (IG Metall, 2010, S. 2). Der

gleichzeitig steigende Anteil der Wertschöpfung im Bereich Elektrik und Elektronik sollte laut IG Metall als Aufruf für langfristige Bildungsstrategien gerade für die Beschäftigten in den mechanischen Fertigungsbereichen und der Montage verstanden werden. „Hier wird in Zukunft eine berufliche Handlungsfähigkeit in Qualifikationen wie Hochvolttechnik, Mechatronik und IT immer mehr eine Rolle spielen“ (IG Metall, 2010, S. 2).

Eine wesentliche Herausforderung der Elektromobilität ist – so die Studie „Boost“ von McKinsey – der Aufbau von Fähigkeiten bei den Beschäftigten. Mit dem Trend zur Elektromobilität verschiebe sich das Kompetenzprofil im Bereich Automotive-Powertrain von der Mechanik hin zur „Me-chem-tronik“: 2030 werde der Anteil der Beschäftigten in den klassischen mechanischen Technologien weltweit von 80 % auf 60 % gesunken sein. Die restlichen 40 % entfallen dann auf Elektroniker und Chemiker: „A shift of skills and competences from mechanics to ‚me-chem-tronics‘ will occur. More electronics and chemicals competences will be required“ (Malorny & Linder, 2012, S. 43). Damit entfallen mehr als 90 % der neugeschaffenen Powertrain-Arbeitsplätze auf die Bereiche Mikroelektronik, Elektrotechnik, Software/IT, Chemie und Kunststofftechnik. Speziell bei Produktionsbeschäftigten werde es – bezogen auf Europa – bei klassischen „Metall-Kompetenzen“ wie Gießen, Schmieden, Zerspanen bis 2030 nach der Boost-Prognose einen Arbeitsplatzabbau um 22.000 Stellen geben. Einen klaren Beschäftigungszuwachs in der Produktion gebe es dagegen bei Kompetenzen wie Mikrosystemtechnik (+38.000), Kunststoffbearbeitung (+32.000), Chemie (+18.000), Montage (+13.000) und Verbindungstechnik (+11.000).

2.4 Gewichtsverlagerung hin zu Montagearbeit

Schon die deutlich geringere Anzahl der Bauteile im elektrischen Antriebsstrang ist ein Indiz für die starken Veränderungen. Im Vergleich zum Verbrennungsmotor kann die Komplexität des Antriebsstrangs beim Elektroauto signifikant reduziert werden, allein die Bauteilanzahl ist bei Elektromotoren mit ca. 100 bis 200 Bauteilen wesentlich geringer als bei Verbrennungsmotoren mit ca. 1.400 Bauteilen. Insgesamt wird Elektromobilität – so Ergebnisse des FAPS (Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik) an der Universität Erlangen-Nürnberg – „die bekannten Produktionsprozesse der automobilen Antriebstechnik dramatisch verändern“ (Franke, 2011):

- Zum einen werden Montageprozesse gegenüber formgebenden Fertigungsverfahren wie Fräsen, Drehen, Schleifen an Bedeutung gewinnen. Es wird davon ausgegangen, dass der „Schwerpunkt spanende Fertigungsverfahren“ beim Verbrennungsmotor durch den „Schwerpunkt Montageprozesse“ beim Elektroan-

trieb abgelöst wird. Beim Elektroantrieb gibt es im Vergleich zum Verbrennungsmotor eine „extreme Verschiebung der Produktionsanteile“ (Pfeiffer P., 2011). Zerspanungsprozesse werden beim Elektromotor lediglich im Bereich Gehäuse, Welle, Lager benötigt. Zerspanende Fertigung wird fast gänzlich von komplexen Montageprozessen verdrängt.

- Zum anderen müssen die verfügbaren Prozesse des Elektromotorenbaus an die hohen Anforderungen der Automobilindustrie angepasst werden. Und die Kostenziele können nur durch eine hochqualitative und produktive Automatisierung der Fertigungsprozesse erreicht werden.

Auch für vorgelagerte Fertigungsverfahren wird ein starker Wandel prognostiziert. Insbesondere für die Gießereitechnologie bedeutet der Wechsel der Antriebstechnik notwendigerweise auch einen Wandel im Produktportfolio und Produktionsvolumen. „Langfristig ist ein Wegfall klassischer gießtechnisch hergestellter Baugruppen im Automobil wie Zylinderkopf, Schaltgetriebegehäuse, Krümmer, Einspritzpumpe usw. hinsichtlich der Variantenvielfalt und der absetzbaren Stückzahl zu erwarten“ (Wöstmann, 2011, S. 456).

Auswirkungen des Wandels zum Hybridantrieb und zum Elektroantrieb zeigen sich deutlich an den unterschiedlichen Zerspanungshauptzeiten, die vom PTW (Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen) an der TU Darmstadt untersucht wurden. „Es ist festzustellen, dass die Anzahl der Bauteile, die durch zerspanende Verfahren wie Dreh-, Fräs-, Bohr- oder Schleifprozesse bearbeitet werden, in Abhängigkeit der Konzeptlösungen deutlich variieren“ (Abele, Hohenstein, Pfeiffer, & von Wühl, 2009, S. 15):

- Beim Hybridkonzept (Voll-Hybrid) kommen im Vergleich zur reinen Verbrennungskraftmaschine (VKM) allein aufgrund des zweiten Motors einige Komponenten hinzu, wodurch sich der Zerspanungsanteil um ca. 10 % erhöht.
- Beim reinen Elektroantrieb dagegen verringern sich die zerspanenden Fertigungsprozesse drastisch um 72 %, besonders stark gehen die Verfahren Fräsen, Bohren und Schleifen zurück.
- Beim Brennstoffzellenfahrzeug sind die Auswirkungen auf die Zerspanungszeiten mit einem Rückgang um fast 60 % ähnlich gravierend.

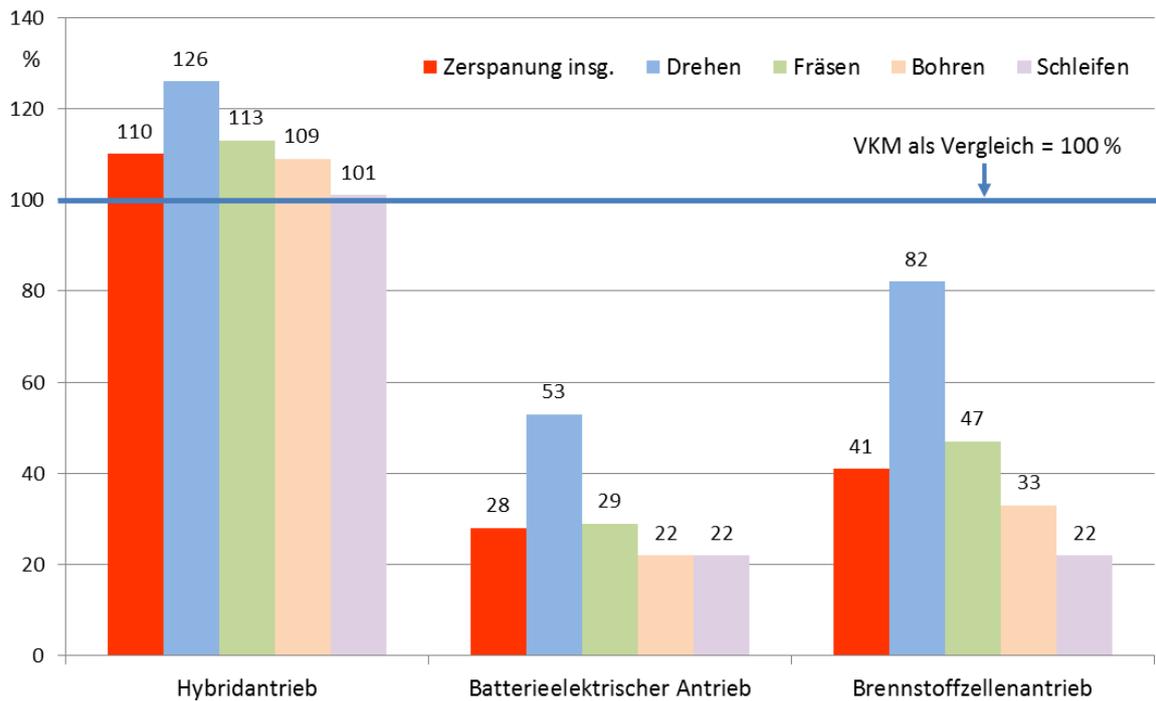


Abbildung 2: Auswirkungen des Wandels zum Elektroantrieb auf die Zerspanungszeiten der Antriebsstrang-Komponenten³

Insgesamt „bleibt festzuhalten, dass der Pkw-Antriebsstrang bei elektrischen Antriebskonzepten wesentlich weniger mechanisch beanspruchte Komponenten und weniger rotatorische Bauteile aufweist“ (Abele, Hohenstein, Pfeiffer, & von Wihl, 2009, S. 16). Aufgrund der Rückgänge in der Zerspanung und unter Berücksichtigung jährlicher Produktivitätszuwächse wird „für den europäischen Markt eine Reduktion des Kapazitätsbedarfs im Antriebsstrang von ungefähr 37 % prognostiziert“ (Abele, Rumpel, Hohenstein, & Benning, 2009, S. 996). Die Forscher am PTW kommen zum Fazit, dass Komponentenfertiger für den automobilen Antriebsstrang gezwungen sein werden, die neu entstehenden Zerspanungsaufgaben im Bereich der elektrischen Antriebskomponenten der Hybrid- und Elektroautos zu erschließen, um hier Marktanteile zu gewinnen und damit Beschäftigung in den bestehenden Komponentenwerken zu sichern.

Nicht nur diese Untersuchungen des PTW zeigen klar, dass die spanende Metallverarbeitung (Drehen, Fräsen, Bohren, Schleifen) langfristig beim Übergang zur Elektromo-

³ Auswirkungen des Wandels zum Elektroantrieb auf die Zerspanungszeiten der Antriebsstrang-Komponenten (in Prozent gegenüber Verbrennungskraftmaschine) (Abele, Hohenstein, Pfeiffer, & von Wihl, 2009, S. 16)

bilität an Bedeutung verliert. Auch der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) kommt in einer gemeinsam mit Roland Berger Strategy Consultants durchgeführten Studie zu einem ähnlichen Resümee: „Während in der Automobilindustrie besonders bei der Antriebsstrang-Produktion vor allem Metallverarbeitung relevant war (umformend oder spanend), werden in Zukunft vor allem bei der Batterieproduktion andere Technologien eingesetzt werden (z. B. Mischen, Beschichten)“ (Schlick, Hertel, Guido, Hagemann, Bernhard, Maiser, Eric, & Kramer, Michael, 2011, S. 14). Damit verändern sich die Anforderungen ans Technologieportfolio der Ausrüster aus dem Maschinen- und Anlagenbau, wie in der entsprechenden VDMA-Studie „Zukunftsfeld Elektromobilität“ untersucht (Schlick, Hertel, Guido, Hagemann, Bernhard, Maiser, Eric, & Kramer, Michael, 2011): Beschichtungs- und Automatisierungstechnik werden für die Produktion von Batterien, Elektromotoren, aber auch von Brennstoffzellen essentiell. Trotz voraussichtlich hoher Automatisierung ändern sich dadurch tendenziell aber auch die Kompetenzanforderungen an die Beschäftigten in der Komponentenproduktion.

Eine Schwerpunktverlagerung hin zu Montageprozessen (Franke, 2011) könnte auf den ersten Blick mit einem „Dequalifizierungstrend“ oder mit „Verlagerungsgefahr“ in Verbindung gebracht werden. Montagearbeit an sich gilt traditionell als „einfache“ Arbeit, die zum überwiegenden Teil von Angelernten ausgeübt wird. Trotz des allenthalben feststellbaren Trends zur Wissensgesellschaft bleibt industrielle Montagearbeit ein relevanter Beschäftigungsbereich, der sich aber aufgrund verschiedener Faktoren in den letzten Jahren stark wandelt: Internationalisierung des Wettbewerbs, steigende Variantenvielfalt, sinkende Produktwechselzyklen und schwankende Mengenbedarfe führen zu einer „ansteigenden Komplexität auf der Ebene der Produkte, Prozesse und Produktionssysteme, deren Beherrschung ein strategischer Erfolgsfaktor ist“ (Hörner, Holm, & Pirner, 2009, S. 246). Daraus resultiert die Anforderung an eine hohe Flexibilität, die sowohl an die eingesetzten Montagetechnologien als auch an die Montagearbeiter gestellt wird. Ein durch Technisierung und durch neue Formen der Arbeitsorganisation hervorgerufener „Qualifikationsshift“ auch für Angelernte ist zu beobachten; Fach- und Prozesskompetenzen werden immer wichtiger. Alles in allem ist gerade bei einfacher Arbeit zwischen der formalen Qualifikation und dem tatsächlichen Qualifikationsprofil bzw. Tätigkeitsinhalt der konkreten Stelle zu unterscheiden. Viele Arbeitskräfte in der Montage sind zwar formal niedrig qualifiziert, konnten sich aber im Umgang mit komplexen Produkten und in automatisierten Arbeitsumgebungen im Laufe des Berufslebens eine hohe Kompetenz, ein großes Erfahrungswissen aneignen. Nicht zuletzt im Kontext mit Ganzheitlichen Produktionssystemen geht es in der Montage zunehmend um Fähigkeiten, „das Ganze im Blick zu haben (also den Prozess und nicht nur den einzelnen Arbeitsplatz) und flexibel mit Unvorhergesehenem umgehen

zu können. ... Montage ist alles andere als „nur“ einfache Arbeit“ (Pfeiffer S., 2007, S. 213). Hochmoderne und flexible Montagesysteme im Zusammenhang mit einer stärker aufkommenden Wertschätzung von Erfahrungswissen in der Montagearbeit könnten dazu beitragen, dass Montagearbeit nicht zum von Verlagerung bedrohten Auslaufmodell wird und der Standort Deutschland als Montagestandort weiterhin Perspektiven hat (Lang, 2008).

In eine ähnliche Richtung geht das Fazit von Peter Ittermann et al. (2011), in deren Studie zwischen drei Typen von Einfacharbeit unterschieden wird, dem klassisch-tayloristischen Muster, dem flexibel-taylorisierten Muster und dem extrafunktional erweiterten Muster. Insbesondere die beiden letztgenannten Muster kommen bei der hier betrachteten Montagearbeit in der Metall- und Elektroindustrie zum Zuge. Flexibel taylorisierte Einfacharbeit ist im Vergleich zum klassischen Taylorismus durch ein „Job-Enlargement auf niedrigem Niveau“ gekennzeichnet, das Jobrotation und gewisse Handlungsspielräume bei der Planung des Personaleinsatzes beinhaltet. Dazu kommen Qualitätssicherungsaufgaben („Werkerselbstprüfung als produktionsbegleitende QS“) und erhöhte Dokumentationsaufwände aufgrund von Tests und Prüfungen. Beim extrafunktional erweiterten Muster handelt es sich dagegen um eine deutliche Ausweitung des Aufgabenspektrums von Einfacharbeit. Insbesondere durch Ganzheitliche Produktionssysteme werden Beschäftigte in einfachen Tätigkeiten mit neuen Anforderungen konfrontiert, konkret mit einer Zunahme der Aufgaben und Verantwortung bei der Qualitätssicherung, der Produktionsplanung, der Produktionssteuerung und der Logistik (Ittermann, Abel, & Dostal, 2011, S. 170).

Auf die Automobilindustrie bezogen sind im Rahmen Ganzheitlicher Produktionssysteme – so eine Analyse des Instituts für Berufsbildung an der Universität Kassel – verschiedene Tätigkeitsprofile zu beobachten: Zum einen in den direkten Produktionstätigkeiten „eine Art der qualifizierten Routinearbeit, die sich an Standards orientiert, hochrepetitiv und monoton ist, bei der aber gleichzeitig die aktive Beteiligung an der fortschreitenden Optimierung dieser Prozesse eingefordert wird“ (Clement, 2010, S. 41). Damit werden die repetitiven Arbeitsaufgaben mit Komplementär- und Optimierungsaufgaben verbunden. Daneben bestehen in anderen Bereichen wie z. B. der Instandhaltung die traditionellen Facharbeiterprofile fort. In stark automatisierten Produktionsbereichen sind Arbeitende überwiegend mit der Beobachtung und Kontrolle automatisierter Prozesse befasst. „Hier entstehen neue Anforderungen im Bereich des kognitiven, systematisierten Fachwissens, das umfassendere betriebliche und sachliche Zusammenhänge umfasst“ (Clement, 2010, S. 42). Ein Fazit dieser Studie: „Dominante Arbeitstypen wie die qualifizierte Facharbeit oder Angelerntenpositionen am Fließband existieren zwar fort, werden aber zunehmend durch weiter ausdifferenzierte Tätigkeitsprofile verdrängt. Wir finden auf der einen Seite ganzheitlich angeleg-

te, mit hohen Problemlöseanforderungen ausgestattete Arbeitsplätze, daneben aber auch niedrig entlohnte Arbeitsplätze ohne hohe Qualifikationsanforderungen und dazwischen eine ganze Reihe von Mischformen wie z. B. die qualifizierte Routinearbeit, die Aufsicht automatisierter Produktionsabläufe, die Koordination von Schnittstellen u.a.m. ... Die Gesamtentwicklung kann allenfalls als ‚polarisierende Heterogenisierung der Belegschaftsstruktur‘ (Baethge) beschrieben werden, bei der qualifizierte Routinearbeit neben problemlösender Facharbeit und neben produktionsnaher Managementtätigkeit steht, ohne dass sich diese in ein einheitliches Profil fügen lassen würden“ (Clement, 2010, S. 42).

Montagearbeit im Rahmen Ganzheitlicher Produktionssysteme wird bei der Produktion konventioneller Komponenten wie auch bei der Produktion von Komponenten für alternative Antriebsstränge weiterhin eine große Rolle spielen. Ein genereller Dequalifizierungstrend ist nicht zu erwarten, jedoch werden im Zuge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs in der Komponentenproduktion die Montagetätigkeiten im Vergleich zu klassischen Facharbeitertätigkeiten, wie z. B. in der mechanischen Fertigung, tendenziell zunehmen.

Diese Gewichtsverlagerung hin zu Montagearbeit steht in den den Technologiewandel begleitenden bildungs- und arbeitspolitischen Debatten nicht im Vordergrund. Dominant in der entsprechenden Diskussion ist die Thematik „Umgang mit Hochvolt-Systemen“ (vgl. folgendes Kapitel). So stand bei der Nationalen Bildungskonferenz Elektromobilität im Juni 2011 in Ulm (die im Rahmen der Nationalen Plattform Elektromobilität stattfand) die Hochvolt-Thematik im Bereich „Berufliche Aus- und Weiterbildung in der Automobilindustrie und Fahrzeugtechnik“ im Zentrum. Und auch von den meisten befragten Experten wird für Produktionsbeschäftigte der Umgang mit Hochvolt-Systemen als zentrale neue Kompetenzanforderung im Zeitalter des Hybrid- und Elektroautos hervorgehoben: „Bei den Produktionstätigkeiten wird es keine Kompetenzsprünge geben. Fertigung und Montage der neuen Komponenten lassen sich in den meisten Bereichen mit bestehenden Qualifikationen abdecken. Nur Hochvolt-Qualifikationen kommen neu hinzu. Anders sieht es bei den Entwicklern aus, bei denen Kenntnisse in elektronischen und chemischen Gebieten immer wichtiger werden“ (Exp.). „Für die Entwicklung neuer Antriebe benötigt man exzellente Leute mit neuen Qualifikationsprofilen, in der Produktion wird sich aber von den Kompetenzanforderungen her nicht so viel ändern“ (Exp.).

2.5 Umgang mit Hochvolt-Systemen

Als neue, mit der Elektrifizierung des Antriebsstrangs einhergehende Kompetenzanforderung mit zentraler Bedeutung in der betrieblichen Praxis der Produktion von Hybrid- und Elektroautos gilt der Umgang mit Hochvolt-Systemen. Von Hochvolt-Systemen bzw. von Hochvolt-Fahrzeugen wird bei Spannungen ab 25 Volt Wechselspannung (AC) oder 60 Volt Gleichspannung (DC) gesprochen (DGUV, 2010). Während die Mitarbeiter in der entsprechenden Produktion bei Autos mit Verbrennungsmotoren mit Spannungen bis 48 Volt (DC) zu tun haben, werden sie bei elektrifizierten Antriebskonzepten mit bis zu 1.000 Volt konfrontiert. Die Beschäftigten müssen entsprechend in der Lage sein, anfallende elektrotechnische Arbeiten zu beurteilen, mögliche Gefährdungen zu erkennen und geeignete Schutzmaßnahmen abzuleiten. Eine berufsgenossenschaftliche Information „Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvolt-Systemen“ (BGI 8686) erarbeitete die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung gemeinsam mit Automobilherstellern und Verbänden (DGUV, 2010). Die BGI 8686 enthält Informationen zur Gefährdungsbeurteilung, zum geltenden Regelwerk im Kontext Hochvolt im Fahrzeug und zu Qualifizierungsmaßnahmen in den entsprechenden Qualifizierungsstufen.

Die BGI 8686 differenziert in die Qualifizierung für Arbeiten in Entwicklung und Fertigung (OEM, Zulieferer) sowie in die Qualifizierung für Arbeiten an Serienfahrzeugen (Servicewerkstätten). Im erstgenannten, die Automobilindustrie betreffenden Bereich kann nochmals nach „Start-of-Production“ (SoP) unterschieden werden. Höhere Kompetenzanforderungen sind in Breite und Tiefe vor allem für „vor-SoP-Beschäftigte“ zu konstatieren, was sowohl für Ingenieure und Techniker als auch für Facharbeiter gilt. Für Arbeiten vor Produktionsstart sind in der BGI 8686 drei Qualifizierungsstufen definiert.

- Stufe 1 beinhaltet alle nicht-elektrotechnischen Arbeiten, die an einem Fahrzeug mit HV-System durchgeführt werden (Karosseriearbeiten, Testfahrten, Öl- und Radwechsel, aber: „Hände weg von Orange!“). Die Beschäftigten müssen auf mögliche elektrische Gefährdungen hingewiesen und über die bestimmungsgemäße Verwendung des Fahrzeugs unterwiesen werden.
- Stufe 2 umfasst elektrotechnische Arbeiten im spannungslosen Zustand und die Herstellung von Spannungsfreiheit („Fünf Sicherheitsregeln der Elektrotechnik“).
- Stufe 3 beinhaltet das Arbeiten unter Spannung am Hochvolt-System, z. B. die Fehlersuche oder das Wechseln von Bauteilen unter Spannung.

Die Kompetenzanforderungen für „vor-SoP-Beschäftigte“ erhöhen sich in Folge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs stärker als für „nach-SoP-Beschäftigte“, wie auch von befragten Experten bestätigt: „Die Wirkungen auf Kompetenzanforderungen nach SoP sind relativ bescheiden. Sie können für wesentliche Bereiche dadurch abgedeckt werden, dass auf die Gefahren elektrischen Stroms sensibilisiert wird“ (Exp.).

- Beschäftigten in der Bandmontage vor Inbetriebnahme des HV-Systems sind verbindliche Arbeitsanweisungen zu vermitteln, die eine Aufklärung über Gefährdungen und dabei zu berücksichtigenden Schutzmaßnahmen beinhalten. Die Leitung und Aufsicht erfolgt durch die jeweiligen Führungskräfte. Die fachliche Richtigkeit der Arbeitsanweisungen wird durch eine Elektrofachkraft mit fundierten Fähigkeiten und Kenntnissen dieser Arbeiten überprüft.
- Mit der Inbetriebnahme des HV-Systems erhöht sich das Gefährdungspotenzial, was je nach Tätigkeit am Fahrzeug weitere Qualifizierungsmaßnahmen für die Beschäftigten erfordert. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Gefährdungspotenziale kommen hier elektrotechnisch unterwiesene Personen bzw. Fachkundige mit einer Qualifizierung nach Stufe 2 oder 3 zum Einsatz.

Da diese Inbetriebnahme des HV-Systems im Pkw-Montagewerk erfolgt, sind dort neben der Hochvolt-Sensibilisierung in der Breite zumindest ab der Batterieinbetriebnahme und Nacharbeit weitere Qualifizierungsmaßnahmen im HV-Stufenkonzept erforderlich. „Für die Beschäftigten in der Produktion gibt es nur in den Bereichen größere spezifische Weiterbildungsbedarfe, wo die neuen Komponenten unter Spannung stehen, z. B. zu Prüfzwecken. Dem Werker ist es letztendlich egal, ob er ein Mechanik-Bauteil montiert oder ob er eine Blackbox mit Elektronik anschraubt und verklemmt“ (Exp.). In der bei ELAB im Fokus stehenden Antriebsstrangproduktion, also in Aggregate- bzw. Komponentenwerken von OEM und Zulieferern, ist eine zusätzliche Hochvolt-Qualifizierung allerdings nur in einer überschaubaren Anzahl von Bereichen erforderlich.⁴

⁴ Eine Konkretisierung der Thematik „Umgang mit Hochvoltsysteme“ für spezifische Fragen der Aus- und Weiterbildung erfolgt in den entsprechenden Kapiteln Ausbildung / Weiterbildung.

2.6 Nationale Plattform Elektromobilität – Folgerungen für Qualifizierung

Im Rahmen der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) konzentrierte sich eine von sieben Arbeitsgruppen auf die Thematik „Ausbildung und Qualifizierung“ (AG 6). Die AG 6 hat sich ausführlich mit beruflicher und mit akademischer Bildung befasst. Es wurden Empfehlungen herausgearbeitet, um den Aus- und Weiterbildungsbereich auf die Zielsetzung auszurichten, Deutschland bis 2020 zum Leitanbieter und zum Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln (NPE-AG 6, 2010).⁵ „Elektromobilität made in Germany“ solle dabei für systemische Lösungen stehen, die Klima- und Ressourcenschutz mit Technologieführerschaft, neuer Wertschöpfung und Schaffung von Arbeitsplätzen verbinden (Bräunig, 2012). Mit diesen von Politik und Wirtschaft formulierten Zielsetzungen ist einer der „anspruchsvollsten technologischen Transformationsprozesse der vor uns liegenden Jahrzehnte“ verbunden (Müller, 2012, S. 292).

Im Bereich akademischer Bildung wird von der NPE der Bedarf an einer Vielzahl neu ausgebildeter Fachkräfte für Elektromobilität identifiziert. Die ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge Fahrzeugtechnik, Maschinenbau, Elektro-/Informationstechnik seien inhaltlich gut aufgestellt; es sei also kein Bedarf an neuen Studiengängen erkennbar. Kurzfristiges Ziel müsse sein, die für die Elektromobilität relevanten ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge systemorientiert zu vernetzen und interdisziplinär auszurichten. Bedarfe gibt es insbesondere für drei Kernthemen der Elektromobilität: die Elektrochemie bzw. die Batterieforschung, die Leistungselektronik und den Leichtbau (NPE-AG 6, 2010).

Für die berufliche Bildung wird konstatiert, dass in den letzten Jahren im gewerblich-technischen Bereich moderne, zukunftsorientierte Berufsbilder entwickelt und umgesetzt wurden, die den Qualifikationsanforderungen im Technologiewandel gerecht werden. Diese Berufsbilder seien offen für die Integration neuer Qualifikationsinhalte, wie sie sich aus den Tätigkeitsfeldern und Geschäftsprozessen der Elektromobilität ableiten. Weder in der Berufsausbildung noch in der Fortbildung seien neue Berufsprofile erforderlich. Notwendig sei allerdings die Entwicklung und Integration der elekt-

⁵ Nach Ansicht der „Expertenkommission Forschung und Innovation“ (EFI) muss die Zielsetzung „Leitmarkt“ und „Leitanbieter“ differenziert betrachtet werden: Demnach werde in China und nicht in Deutschland ein Leitmarkt im Bereich Elektromobilität entstehen. „Deutschland hat aber die Chance, Anbieter von Fahrzeugkomponenten, Informations- und Kommunikationstechnologie und hochwertigen Elektroautomobilen zu werden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die Entwicklung einer abgestimmten Strategie zwischen deutscher Industrie, staatlichen Stellen und Forschungseinrichtungen sinnvoll“ (EFI, 2012, S. 108).

romobilitäts-spezifischen Qualifizierungsinhalte. „Für den Bereich der beruflichen Weiterbildung vollzieht sich dies vorteilhafterweise im Rahmen einer arbeitsprozessorientierten Qualifizierung“ (NPE-AG 6, 2010, S. 9).

Diese Ergebnisse der Nationalen Plattform Elektromobilität wurden bei der Nationalen Bildungskonferenz Elektromobilität (NBE) im Juni 2011 in Ulm im Wesentlichen bestätigt. Das Oberziel im Bereich Bildung und Qualifizierung müsse sein, die interdisziplinäre und branchenübergreifende Zusammenarbeit in systemorientierten Bildungsgängen und Qualifizierungskonzepten zu fördern. Kompetenzanforderungen liegen im Bereich der Technik breit gestreut in den Feldern Elektrochemie, Batterietechnik, Leistungselektronik, Elektromotorenbau, elektromagnetische Verträglichkeit, Hochvolt-Systeme, Automobilinformatik, Leichtbau, Produktionstechnologie, Thermomanagement, usw.

Fazit der NBE für die berufliche Ausbildung im dualen System ist, dass neue Qualifikationen zwar erforderlich seien, aber keine neuen Ausbildungsberufe benötigt werden. Neue Module wie z. B. der Umgang mit Hochvolt-Systemen können in die bestehenden, flexiblen Berufsbilder integriert werden.

Fazit der NBE für die akademische Ausbildung ist, dass keine neuen Studienfächer erforderlich seien, sondern eine Anpassung bei Studieninhalten an Erfordernisse, die aus der Elektromobilität resultieren sowie neue Kombinationen und die Vernetzung bestehender Studienfächer.

Fazit für den Bereich der Qualifizierung ist, dass spezifische Fort- und Weiterbildung klar erforderlich sei (z. B. im Bereich Umgang mit Hochvolt-Systemen). Es sollten arbeitsprozessorientierte Lernkonzepte entwickelt und erprobt werden. Als wichtig wurde angesehen, dass die Unternehmen ihre Belegschaften in der Breite „im Technologiewandel mitnehmen“ und „Begeisterung für Elektromobilität wecken“.

Als überaus wichtig wurde bei der NBE die Standardisierung von Qualifizierungsinhalten und -abschlüssen hervorgehoben. Gerade im Feld der Hochvolt-Qualifizierungen gibt es eine dynamische Entwicklung hin zu einem immer heterogeneren Anbieterspektrum und einer damit einhergehenden Vielfalt an Qualifizierungsangeboten. Letztlich darf es – so der zuständige Referatsleiter beim BMBF – „keine unternehmensspezifischen oder regionalen Insellösungen geben. Ziel muss vielmehr die Standardisierung der Aus- und Weiterbildungsinhalte sein. Als ein sehr wichtiges Ergebnis von Ulm kann deshalb auch die Verabredung der Ausbildungsbeauftragten der Automobilunternehmen festgehalten werden, einen solchen gemeinsamen Ansatz zu entwickeln“ (Katenkamp, 2011, S. 3). Abschließend wurde bei der NBE die Entwicklung ei-

ner „Kompetenzroadmap Elektromobilität“ vereinbart, die dann im Mai 2012 veröffentlicht wurde.

2.7 Arbeitsschutz und arbeitswissenschaftlich relevante Veränderungen

Die Produktion von Hybrid- und Elektroautos und ihrer neuen Antriebsstrang-Komponenten stellt eine Herausforderung auch für den Arbeitsschutz dar. Durch den Elektroantrieb treten Gefährdungen auf, die in der Automobilindustrie bisher unbekannt waren. Neu für die Branche sind z. B. Hochvolt-Systeme mit Spannungen bis zu 1.000 Volt. Eine Abschätzung arbeitswissenschaftlich relevanter Veränderungen durch Elektromobilität wurde Anfang 2012 veröffentlicht (Enderlein, Krause, & Spanner-Ulmer, 2012). Das von der Professur für Arbeitswissenschaft (Prof. Spanner-Ulmer) an der TU Chemnitz erstellte Gutachten wurde von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) beauftragt. Im Fokus der Studie steht die Frage nach möglichen Auswirkungen der Elektromobilität auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz und daraus abzuleitender Forschungs- und Handlungsbedarf.

Die stärkste Auswirkung auf den Arbeitsschutz hat – so ein Fazit der Studie – der Umgang mit Traktionsbatterien, also in der Regel mit leistungsstarken Energiespeichern auf Lithium-Basis. Insbesondere in Produktions- und Werkstattbereichen müsse mit Gefahren durch höhere Spannungen (Umgang mit Hochvolt-Systemen) und durch zusätzliche Gefahrstoffe (z. B. Lithium) gerechnet werden. Für weitere Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs bestehe kein außergewöhnlicher oder spezifischer Handlungsbedarf für den Arbeitsschutz.

Arbeitsschutzrelevante Veränderungen durch Elektromobilität bzw. potenzielle Gefahren durch Lithium-Ionen-Hochvolt-Batterien, die im BAuA-Gutachten hervorgehoben werden, sind:

- Gefahr durch hohe Spannungen (elektrische Gefahren): Durch den Einsatz von Hochvolt-Technik werden die Beschäftigten rund um Hybrid- und Elektrofahrzeuge größeren Gefahren ausgesetzt sein. Beim Berühren von spannungsführenden Teilen kann es zu einem tödlichen elektrischen Schlag kommen.
- Gefahr durch austretende Inhaltsstoffe (chemische und thermische Gefahren): Die neue Antriebstechnologie macht auch den Umgang mit neuen Gefahrstoffen erforderlich, die vor allem in den Hochvoltbatterien auf Lithiumbasis eingesetzt werden. Während der Batteriemontage und auch beim späteren Verbau im Fahrzeug kommt es im Regelfall zu keinem Kontakt mit Gefahrstoffen der Batte-

riezellen. Gefährdungen für die Beschäftigten entstehen „erst in Folge mechanischer Beschädigungen, Kurzschlüssen oder zu starkem Laden bzw. Entladen einer einzelnen Zelle; die Zelle kann instabil werden, erhitzt sich stark und es besteht akute Brandgefahr sowie Gefährdung durch austretende Inhaltsstoffe“ (Enderlein, Krause, & Spanner-Ulmer, 2012, S. 20). Somit entsteht im Arbeitsprozess vor allem dann ein Gefährdungsrisiko, wenn das Batteriesystem beschädigt wird, was chemische Reaktionen der eingesetzten Stoffe mit entsprechenden Verletzungen zur Folge haben kann.

- Belastungsrelevante Aspekte: Physische Belastungen sind durch das Handling schwerer Bauteile⁶ zu erwarten. Gerade die manuelle Lastenhandhabung ist aus arbeitswissenschaftlicher Sicht problematisch, da sich die physischen Belastungen auf das Muskel-Skelett-System auswirken. Psychische Belastungen wie Ängste und Stress können aus dem Umgang mit Hochvoltkomponenten resultieren: „Der Druck Bildungsmaßnahmen beiwohnen zu müssen, ist dabei ebenso eine Belastung für Mitarbeiter, wie die Angst vor Verletzungen durch den Umgang mit diesen Komponenten oder dem Verlust des Arbeitsplatzes an andere Berufsgruppen, beispielsweise Elektriker“ (Enderlein, Krause, & Spanner-Ulmer, 2012, S. 25).

Das BAuA-Gutachten hebt hervor, dass das Gefährdungspotenzial vorrangig durch den Einsatz von Hochvoltbatterien und durch das Hochvoltnetz im Elektroauto bestimmt ist. „Um die Gefahren in der Arbeitswelt zu begrenzen, gibt es folglich einen großen Bedarf an Qualifikation“ (Enderlein, Krause, & Spanner-Ulmer, 2012, S. 24). Qualifikatorische Anforderungen werden in erster Linie beim Umgang mit Hochvolt-Systemen und der entsprechenden Qualifikation zur Elektrofachkraft (BGI 548) bzw. der Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvolt-Systemen (BGI 8686) gesehen. Darüber hinaus sind im Kontext Arbeitsschutz die Gestaltung und technische Ausstattung der Arbeitsplätze sowie die Arbeitsorganisation von Bedeutung. Für die Arbeitsplatzgestaltung empfiehlt das BAuA-Gutachten geeignete Handlinggeräte und speziell ausgelegte Werkzeuge, gleichzeitig müssen für Lagerung und Transport von Gefahrgut bestimmte Auflagen erfüllt werden. Im Feld der Arbeitsorganisation betont das BAuA-Gutachten, dass für die Arbeit an Elektrofahrzeugen nur unterwiesenes

⁶ Im BAuA-Gutachten wird hier vor allem auf schwere Traktionsbatterien verwiesen. Die entsprechenden Bauteile können auf ein Einzelgewicht von über 15 kg kommen, Batteriesysteme insgesamt können bis zu 500 kg schwer sein. In den ELAB-Expertengesprächen spielte in diesem Zusammenhang nicht nur die Traktionsbatterie, sondern auch das Handling des schweren Traktionselektromotors und der im Vergleich zu anderen Steuergeräten deutlich schwereren Leistungselektronik eine Rolle.

Fachpersonal eingesetzt werden kann. Entsprechend bestehe eine direkte Abhängigkeit zwischen Arbeitsplanung und der Verfügbarkeit bereits qualifizierter Beschäftigter. Empfohlen werden Rotationsmaßnahmen, um übermäßige einseitige Belastungen zu begrenzen und Teamarbeit, z. B. gemischte Teams aus Mechanikern und Elektrikern, um die Qualität des gesamten Arbeitsablaufs sicherzustellen.

In der BAuA-Studie wird der Fokus bei der Bewertung von Auswirkungen der Elektromobilität auf die menschliche Arbeit auf die Entwicklung, Montage und den Verbau von Hochvoltbatterien gelegt, was die Gutachter als Ergebnis ihrer Empirie (Literaturrecherche und Expertengespräche) begründen. „Die Herausforderungen für den Arbeitsschutz bestehen vor allem in der Anpassung und Umsetzung bestehender Sicherheitsanforderungen für die Produktions- und Werkstattbereiche, die insbesondere mit Gefahren durch höhere Spannungen und zusätzliche Gefahrstoffe (z. B. Lithium) rechnen müssen“ ... Eine besondere Bedeutung kommt der „Qualifizierung und Weiterbildung des vorhandenen Fachpersonals und der Ausbau der beruflichen und akademischen Bildung zu“ (Enderlein, Krause, & Spanner-Ulmer, 2012, S. 58).

3. Ausbildung

Die Berufsausbildung im dualen System hat in Deutschland eine nach wie vor hohe Bedeutung, als Basis für qualifizierte Facharbeit ist sie ein essentieller Bestandteil des deutschen Innovationssystems. Das Ziel beruflicher Bildung ist die berufliche Handlungsfähigkeit, die sich aus einem spezifischen Mix aus Fachkompetenz, Methodenkompetenz, sozialer Kompetenz und personaler Kompetenz zusammensetzt. Quer zu diesen Feldern beruflicher Handlungsfähigkeit steht die Innovationskompetenz, die inhaltlich mit Begriffen wie z. B. „Interdisziplinarität“, „Prozess- und Systemkompetenz“, „Könnensbewusstsein“ gefüllt werden kann (Ehrke, Brötze, & Gerdes, 2012).

Die klassischen gewerblich-technischen Ausbildungsberufe in der heutigen Antriebsstrangproduktion (Verbrennungskraftmaschine, Getriebe, etc.) sind Industriemechaniker/in, Mechatroniker/in, Kfz-Mechatroniker/in, Elektroniker/in (z. B. für Automatisierungstechnik), Fertigungsmechaniker/in, Werkzeugmechaniker/in, Gießereimechaniker/in, Zerspanungsmechaniker/in, technische/r Modellbauer/in, Metallwerker/in, Fachkraft für Lagerlogistik etc.

In den letzten Jahren ist in der Automobilindustrie ein Wandel im Mix der Ausbildungsberufe zu beobachten. In der Antriebsstrangproduktion, aber auch in den Pkw-Montagewerken, erfolgt eine Verschiebung von „reinen“ Metallberufen in Richtung mechatronische Berufe (Mechatroniker/in und Kfz-Mechatroniker/in) und industrielle Elektroberufe (Elektroniker/in für Automatisierungstechnik, ... für Maschinen und Antriebstechnik, ...). Dieser strukturelle Wandel im Berufemix von Metall- und Mechanik-Berufsbildern (M/M-Berufe) hin zu Elektrik- und Elektronik-Ausbildungsberufen (E/E-Berufe) war in den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten vor allem durch die immer höheren E/E-Anteile im Pkw (vom elektrischen Fensterheber bis zum Infotainment) und die immer stärkere Automatisierung in der Produktion bedingt. „Bis vor wenigen Jahren haben wir 2/3 unseres gewerblich-technischen Nachwuchses in Metallberufen und 1/3 in elektronischen und mechatronischen Berufen ausgebildet. Seit kurzem liegen wir bei 50:50“ (Exp.).

Heute kommt als weiterer Treiber für den Wandel im Berufemix hin zu E/E-Berufen die Elektrifizierung des Antriebsstrangs hinzu. Die inhaltlichen Facetten der Elektromobilität werden durch die vorhandenen Ausbildungsprofile der Elektroberufe und der Kfz-Berufe weitgehend abgedeckt. „Zukünftig werden wohl eher die Berufe der Elektroindustrie stärker im Fokus der Automobilhersteller und Zulieferer stehen. ... Die industriellen Elektroberufe ermöglichen es den Unternehmen, handlungsfähige Fachkräfte im Bereich der Elektromobilität auszubilden“ (IG Metall, 2010, S. 4).

Bei einigen Unternehmen der Automobilindustrie zeigt sich – mit dem Wandel im Berufemix verbunden – im Ausbildungsplatzangebot ein Wandel hin zu qualitativ immer hochwertigeren Berufen und daraus resultierenden wachsenden kognitiven Anforderungen der Facharbeiterausbildung. Zum Beispiel wurde in einem großen Komponentenwerk eines OEM der Ausbildungsberuf Fertigungsmechaniker/in, vom Kern her ein Montageberuf, vor kurzem durch inhaltlich anspruchsvollere Berufe ersetzt: „Wenn wir schon weniger junge Leute ausbilden, dann wenigstens in qualitativ hochwertigen Berufen“ (Exp.). Gleichzeitig verschiebt sich das Ausbildungsangebot von klassischer dualer Berufsausbildung hin zur Kombination der betrieblichen Ausbildung mit einem Studium an einer Dualen Hochschule. Ebenso kann bei manchen OEM der Erwerb der Fachhochschulreife mit der klassischen Ausbildung kombiniert werden.

Ausbildungsberufe für die Elektromobilität – „ein dynamisches Innovationsfeld bietet spannende Perspektiven“ – stellt eine Broschüre des Bundesministeriums für Bildung und Forschung vor (BMBF, 2011). Darin wird berufliche Bildung für die verschiedenen Handlungsfelder entlang der Prozesskette Elektromobilität dargestellt. Neben dem für ELAB relevanten Bereich „Fahrzeugtechnik (eCar)“ geht die BMBF-Broschüre auf die Bereiche „Infrastruktur (Netze)“, „Infrastruktur (Stationen)“, „Systemdienstleistungen“ und „Fahrzeugservice / -handel“ ein. Für „Fahrzeugtechnik (eCar)“ sind außer den im folgenden Zitatkasten dargestellten sieben Ausbildungsberufen noch „eine ganze Reihe von Berufen, die direkt oder indirekt mit Elektromobilität in Verbindung stehen – wie etwa Industriemechaniker oder Industriekaufleute“ relevant.

*„Im Handlungsfeld Fahrzeugtechnik (eCar) sind bei der Herstellung von elektrischen Antriebssystemen in erster Linie die industriellen Elektroberufe relevant. **Elektroniker/innen für Maschinen- und Antriebstechnik** bauen die Motoren. **Elektroniker/innen für Geräte und Systeme** prüfen und testen die Motorsteuerungen und Antriebsregelungen und bauen die elektronischen Komponenten. **Systeminformatiker/innen** implementieren Softwarekomponenten, konfigurieren Baugruppen und programmieren die eingebetteten Systeme. **Mechatroniker/innen** bauen die Systemkomponenten im Fahrzeug zusammen und prüfen die Funktionen. **Elektroniker/innen für Automatisierungstechnik** sind gefragt, wenn die neuen automatisierten Produktlinien entstehen. Dies tun sie gemeinsam mit **Produktionstechnologen/innen**, die neue Produktionsanlagen einrichten und die hohen Standards einer Serienproduktion sichern.“*

...

„Kfz-Mechatroniker/innen sind die Spezialisten für fahrzeugtechnische Systeme und die damit verbundenen Prüf- und Diagnostiktätigkeiten“

Abbildung 3: Ausbildungsberufe „Fahrzeugtechnik (eCar)“ (BMBF, 2011, S. 10, 20).

Für diese Ausbildungsberufe von Elektroniker/in über Mechatroniker/in, Systeminformatiker/in bis hin zu Kfz-Mechatroniker/in sind breit angelegte Qualifikationsprofile und ein ganzheitliches Berufsverständnis charakteristisch. „Diese prozessorientierten Berufsbilder sind offen für die Integration neuer Qualifikationsinhalte und bieten überall dort große Vorteile, wo – kennzeichnend für die Tätigkeitsfelder des Technologiefelds Elektromobilität – dynamischer Wandel, vielfältige Innovationen oder komplexe Fragestellungen für Herausforderungen im Arbeitsalltag sorgen“ (BMBF, 2011, S. 12). So gehört es z. B. bei Daimler zur „greenHR-Strategie“ im Bereich Ausbildung, „‘grüne‘ Kompetenzen in bestehende Berufsbilder“ zu integrieren (Daimler, 2012, S. 88).

Die Integration neuer Qualifikationsinhalte wird derzeit bei Kfz-Mechatronikern in industrieller Ausbildung erprobt, indem der Umgang mit Hochvolt-Systemen als Zusatzqualifikation angeboten wird. Hochvolt-Systeme sind bislang nicht Bestandteil des Berufsbilds Kfz-Mechatroniker/in, eine Überarbeitung des Berufsbilds soll aber in den nächsten Jahren erfolgen. Eine entsprechende, in die Ausbildung integrierte Zusatzqualifikation bietet z. B. die IHK Region Stuttgart seit 2010 an. Die „Zusatzqualifikation Fachkraft für elektrotechnische Arbeiten an Hochvolt-Systemen in Fahrzeugen für Auszubildende im Ausbildungsberuf Kraftfahrzeugmechatroniker/-in“ (IHK Region Stuttgart, 2010) erfolgt mit insgesamt 160 Stunden Theorieunterricht, der in die Berufsschule integriert ist (einmal monatlich ein zusätzlicher Tag). Dazu kommt ein Praxisteil mit einem Umfang von mindestens 40 Stunden. Genutzt wird diese Zusatzqualifikation von Stuttgarter Ausbildungsbetrieben wie z. B. Behr, Daimler und Porsche.

Der mit dem Schlagwort „von M/M- zu E/E-Ausbildungen“ beschriebene Wandel im Mix der Ausbildungsberufe insgesamt kann exemplarisch am Ausbildungsberuf Kfz-Mechatroniker/in beschrieben werden. Der Ausbildungsschwerpunkt lag beim Kfz-Mechatroniker lange Zeit im mechanischen Bereich, oder wie ein befragter Experte zuspitzte im „Metall-Block“. Zukünftig werden Kfz-Mechatroniker/innen sich immer stärker mit dem „Elektronik-Block“ auseinandersetzen müssen, die Zusatzqualifikation „Umgang mit Hochvolt-Systemen“ sei nur ein erster Schritt in diese Richtung (Exp.). Letztlich werde ein an sich schon breiter und anspruchsvoller Ausbildungsberuf nochmals angereichert um Hochvolt-Systeme sowie z.B. Leistungselektronik und Regelungstechnik. „Mit dieser Anreicherung von E/E-Themen wird so mancher Auszubildender systematisch überfordert“ (Exp.). Gleichzeitig wird die E/E-Anreicherung jedoch auch als notwendig für zukünftige berufliche Perspektiven angesehen: „Ein Kfz-Mechatroniker, der heute ausgebildet wird, ist über 2050 hinaus im Beruf und wird bereits in 10 bis 15 Jahren sehr viele elektrifizierte Fahrzeuge vorfinden und damit umgehen müssen“ (Exp.).

Die für den Umgang mit Hochvolt-Systemen erforderliche Qualifizierung zur Elektrofachkraft ist bei OEM zunehmend in die Ausbildung zum Kfz-Mechatroniker integriert, bei Daimler beispielsweise seit dem Einstelljahrgang 2010. Und bei Audi haben sich in einem Pilotprojekt 2011 erstmals 25 Kfz-Mechatroniker während ihrer Ausbildung als Elektrofachkraft Fahrzeugtechnik – mit Schwerpunkt sicherer Umgang mit Hochvolttechnik – qualifiziert und unmittelbar nach Ausbildungsabschluss die entsprechende IHK-Prüfung abgelegt (Audi, 2012). „Die im Rahmen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs aufkommende Hochvolt-Thematik ist bei den Ausbildungsberufen in erster Linie für den Kfz-Mechatroniker relevant“ (Exp.). Zum selben Ergebnis kam eine interne Untersuchung eines Automobilherstellers zu Wirkungen der Elektromobilität auf die Ausbildung bereits vor einigen Jahren. Demnach sei von der Elektrifizierung des Antriebsstrangs in erster Linie der Ausbildungsberuf Kfz-Mechatroniker/in betroffen, bei dem die neuen Anforderungen mit einer Zusatzqualifikation abgedeckt werden könnten (Exp.).

Für die sukzessive Elektrifizierung des Antriebsstrangs sind wandlungsfähige Produktionssysteme enorm wichtig. In diesem Kontext könnte der 2008 eingeführte, bisher wenig verbreitete Ausbildungsberuf Produktionstechnologe/in stärkere Beachtung finden. „Der Produktionstechnologe ist ein neuer Facharbeitertyp mit einer umfassenden Handlungskompetenz im Bereich klassischer Fertigungsverfahren wie auch innovativer Produktionstechnologien“ (Müller, 2012, S. 287). Dieser von VDMA und IG Metall etablierte, innovative Ausbildungsberuf ermöglicht es den Betrieben, agil auf sich verändernde technische Anforderungen zu reagieren. Die Einsatzgebiete liegen im Workflow zwischen Entwicklung und Produktion, in der Vor- oder Nullserie und im Produktionsanlauf. Im Vergleich zum Mechatroniker, der durch Systemkompetenz charakterisiert werden kann, ist die Qualifikation beim Produktionstechnologen durch Prozesskompetenz gekennzeichnet, die Produktionstechnik, Produktionsorganisation und IT-Einsatz integrativ verbindet. Gerade an der Schnittstelle von Entwicklung und Produktion könnten die prozessorientierten, produktions- und informationstechnischen Kompetenzen des Produktionstechnologen wichtig für die Innovationsfähigkeit der Betriebe werden (Ehrke, Brötz, & Gerdes, 2012, S. 321).

Zusammenfassend ist für die gewerblich-technische Ausbildung festzuhalten, dass es einen starken Trend hin zu mechatronischen und vor allem E/E-Berufen gibt und dass sich gleichzeitig auch innerhalb des Berufsbildes Kfz-Mechatroniker/in die E/E-Anteile sukzessive erhöhen. Ansonsten gab es bei den im Rahmen der ELAB-Studie befragten Experten eine breite Übereinkunft, dass in der gewerblich-technischen Ausbildung in den nächsten Jahren vor allem die für den Umgang mit Hochvolt-Systemen notwendige Zusatzqualifikation eine wichtige Rolle spielen wird. Diese gilt es nicht nur in der Kfz-Mechatroniker/in-Ausbildung zu verankern, sondern auch „für die anderen Aus-

bildungsberufe in der Automobilindustrie sollten klar definierte ‚Aufsetzpunkte‘ für das Vermitteln der verschiedenen Stufen der Hochvolt-Qualifizierung geschaffen werden“ (Exp.). Darüber hinaus ist es für alle Auszubildenden über die gesamte Prozesskette des Automotive-Bereichs von Vorteil, wenn ihnen breit angelegte Kenntnisse und systemisches Wissen zur Elektromobilität vermittelt werden.

4. Weiterbildung

Neue Kompetenzanforderungen, die aus dem Technologiewandel resultieren, führen zu Qualifikationsbedarfen, die einerseits durch Ausbildung neuer Fachkräfte abgedeckt werden, andererseits durch Fort- und Weiterbildung – und hier ist die große Frage und Herausforderung: Wie stellen die Unternehmen die vorhandenen Beschäftigten, die heute in Entwicklung, Fertigung, Montage, Logistik und in den Werkstatt-/Servicebereichen tätig sind, auf den Technologiewandel Elektromobilität ein? Es werden Antworten für alle betroffenen Beschäftigtengruppen benötigt.⁷ Da bei der ELAB-Studie die Produktion von Antriebssträngen und ihren Komponenten im Zentrum steht, werden im Folgenden die heute absehbaren Konsequenzen für dort tätige Beschäftigtengruppen diskutiert – zunächst übergreifend für die Antriebsstrangproduktion, in den folgenden Kapiteln dann spezifisch für die neuen Komponenten der alternativen Antriebsstränge: Batterie, Elektromotor, Leistungselektronik, Brennstoffzellensystem.

Die Produktion konventioneller Antriebsstränge ist jedoch nicht nur mit dem mit der sukzessiven Elektrifizierung des Antriebsstrangs verbundenen Technologiewandel konfrontiert, sondern auch mit der Optimierung der konventionellen Komponenten Verbrennungsmotor und Getriebe, um eine Verbrauchsminderung zu erreichen. Aus den Optimierungskonzepten resultierende Produktionsprozesse mit erhöhten Genauigkeits- und Reinraumanforderungen verändern die Kompetenzanforderungen an die hier Beschäftigten: „Kompetenzen rund um Reinraumtechnologien bekommen in der konventionellen Komponentenproduktion einen hohen Stellenwert und das Thema ‚Sorgfalt‘ wird immer wichtiger“ (Exp.).

Alles in allem geht es für die Unternehmen im Technologiewandel darum, die berufliche Handlungskompetenz der Beschäftigten über gezielte Weiterbildung an die neuen Herausforderungen anzupassen. Methodisch sollte hier verstärkt das Konzept der arbeitsprozessorientierten Weiterbildung zum Zuge kommen, bei dem Arbeiten und Lernen eng miteinander verknüpft sind. Arbeitsprozessorientiertes Lernen setzt gezielt an den alltäglichen Arbeitsprozessen im Betrieb an. Als Voraussetzung dafür müssen lernförderliche Rahmenbedingungen geschaffen werden (BMBF, 2011). Inhaltlich

⁷ So hat z. B. der Personalbereich von Daimler die strategische Initiative „greenHR“ eingeleitet. Ziel von „greenHR“ ist es, künftige Personalanforderungen und die Rahmenbedingungen in den fünf Feldern „Personalbedarfsanalyse und -planung“, „Recruiting“, „Ausbildung“, „Weiterbildung“ und „Personalentwicklung“ proaktiv zu gestalten (Daimler, 2012).

könnte – so ein Beispiel aus dem Zwischenbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität – die Fortbildung „Prozessmanager/in – Produktionstechnologie“ einen wichtigen Baustein bilden. „Der Prozessmanager – Produktionstechnologie führt das Prozessmanagement für die Produktion und die damit verbundenen Innovations- und Verbesserungsvorhaben. Auch das Projektmanagement von komplexen Projekten in der Produktion gehört dabei zu seinen Aufgaben. In diesen Zusammenhängen ist er in der Produkt- und Prozesskonzeption, in der Prozessentwicklung und -implementierung, im Produktionsanlauf oder in der Produktionsplanung und -steuerung tätig“ (NPE-AG 6, 2010, S. 9). Weitere Möglichkeiten der berufsbegleitenden Qualifizierung für Fachkräfte mit elektrotechnischer Ausbildung bietet das 2009 in Kraft getretene Weiterbildungssystem der Elektrotechnikindustrie.

Ein wichtiges Qualifizierungsthema, das von den befragten Experten hervorgehoben wurde, ist der Umgang mit Hochvoltssystemen. Das im entsprechenden Kapitel bereits beschriebene Stufenkonzept nach der BGI 8686 wurde von Unternehmen der Automobilindustrie bereits implementiert, wie im Folgenden exemplarisch dargestellt:

- Audi bietet die Weiterbildung zur „Elektrofachkraft Fahrzeugtechnik“ an, deren erste Absolventen im März 2010 ihre Zertifikate erhielten. Das Weiterbildungskonzept wurde im Hinblick auf die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von der Audi AG zusammen mit der IHK Akademie München erarbeitet. Dabei stehen der Umgang mit Hochvolttechnik und das Thema Arbeitsschutz im Zentrum. In Form eines mehrstufigen Qualifizierungskonzepts werden die Fachkräfte für den kompetenten Umgang mit Hochvolt-Systemen geschult. Über dem „elektrotechnischen Laien“, der keine Arbeiten am Hochvolt-Fahrzeug durchführen darf, kommen auf der ersten Stufe die „sensibilisierten Personen“, die z. B. Hochvolt-Komponenten im spannungsfreien Zustand verbauen dürfen. Zweite Stufe ist die „Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten“ (EfffT), die mit Arbeitsanweisung am Hochvolt-Fahrzeug bestimmte Arbeiten ausführen darf. Dritte Stufe ist die „Elektrofachkraft Fahrzeugtechnik“, die zum eigenständigen Arbeiten am Hochvolt-Fahrzeug berechtigt. Darüber ist die Elektrofachkraft mit Zusatzqualifikation „Arbeiten unter Spannung“ und – in der Spitze der Pyramide – die „Verantwortliche Elektrofachkraft“ (VEFK) angesiedelt. VEFK ist, wer als Elektrofachkraft die Fach- und Aufsichtsverantwortung übernimmt und vom Unternehmen dafür beauftragt ist (Smolik, 2011).
- Daimler hat in den Werken eine Organisation qualifizierter Elektrofachkräfte im Bereich Hochvolt-Systeme in Kraftfahrzeugen aufgebaut. Dafür wurden drei Funktionen eingeführt: die Verantwortliche Elektrofachkraft (VEFK), die Elektrofachkraft mit Fachverantwortung (EFKmF, z. B. erforderlich in Nacharbeit und Inbetriebnahme) und die Fachkraft für Hochvolt-Systeme in Kraftfahrzeug-

gen (FfHV), die unter Aufsicht einer EFkmF ein Hybrid- bzw. Elektroauto nach Arbeitsanweisung aufbauen darf.

- Opel bildet seit Anfang 2009 den „Systemtechniker Elektromobilität“ mit IHK-Zertifikat aus. Diese Qualifizierung im Opel-Zentrum für alternative Antriebe in Mainz-Kastel richtet sich an Kfz-Mechatroniker und Mechatroniker, die künftig als „Fachexperten Hochvolt Kfz“ in den Werkstätten und in der Prototypenentwicklung arbeiten wollen. Das sogenannte Nivellierungsmodul ist die Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten. Im folgenden Basisqualifikationsmodul erfolgt die Vermittlung von Elektromobilitätsgrundwissen, das in konkreten Projekten im Werkstattbereich angewendet wird. Im Spezialisierungsmodul wird auf betriebsbezogene Projekte im Kontext von Elektromobilität spezialisiert (Seeberg, 2011).
- ZF organisiert den „Elektrobereich elektrische Fahrtriebe“ mittels Verantwortungsübertragung an eine „Gesamtverantwortliche Elektrofachkraft“ (G-VEFK), die im elektrotechnischen Umfeld weisungsbefugt ist. In der zweiten Hierarchiestufe gibt es „Bereichsverantwortliche Elektrofachkräfte“ (B-VEFK). Durch die VEFK werden in den einzelnen Bereichen, z. B. Hybridantrieb, „Fachkundige für elektrische Fahrtriebe“ (FEFA) ernannt, die über ein Schulungszertifikat entsprechend BGI-8686 und einen Einarbeitungsnachweis verfügen müssen (Litz, 2011).

In den Aggregatewerken und Montagewerken – also nach den Werksstrukturen der OEM gegliedert – ist die Beschäftigtenanzahl mit Weiterbildungsbedarfen im Bereich Hochvolt sehr unterschiedlich. Beim Bau von Hybrid- oder Elektroautos entsteht in den Pkw-Montagewerken der OEM für zahlreiche Beschäftigte Weiterbildungsbedarf im Bereich Umgang mit Hochvolt-Systemen. In den Aggregatewerken, in denen die Komponenten des Antriebsstrangs produziert werden, werden nur wenige Beschäftigte, z. B. in der Entwicklung und in der Inbetriebnahme, mit der Hochvolt-Thematik konfrontiert. In der Antriebsstrangproduktion erfolgt in der Regel eine bedarfsorientierte Qualifizierung für den Umgang mit Hochvolt-Systemen, z. B. zur Elektrofachkraft Hochvolt-Systeme für Kfz-Mechatroniker, oder z. B. zur elektrotechnisch unterwiesenen Person für Industriemechaniker. Es werden nur diejenigen, die mit Hochvolt „in Berührung kommen“, entsprechend qualifiziert. In der Getriebemontage werden beispielsweise die Teile für das Hybridgetriebe spannungslos verbaut, es ist also irrelevant, ob hier ein Hybrid- oder ein konventionelles Getriebe gebaut wird. Eine Qualifizierung zum Umgang mit Hochvolt-Systemen ist erst dann erforderlich, wenn die Hybridgetriebe geprüft werden – und das wird künftig vollautomatisiert im Prüfstand geschehen (Exp.).

5. Komponentenspezifische Qualifikationserfordernisse

Als zentrale Komponenten alternativer Antriebsstränge wurde im Forschungsprojekt ELAB auf Traktionsbatterien, Elektromotoren, Leistungselektronik und Brennstoffzellensysteme näher eingegangen. Für diese neuen Komponenten wurden aus der Analyse der Produktionsprozesse sowie auf Basis der Expertengespräche und der Literaturauswertung spezifische Kompetenzanforderungen und Qualifikationserfordernisse unter die Lupe genommen.

5.1 Batterie

Traktionsbatterien, also Batterien für elektrische Kfz-Antriebe, bestehen aus drei Einzel-Komponenten: den Batteriezellen, dem Batteriemanagementsystem und dem Gehäuse mit Kühlsystem. Zweifellos ist die Traktionsbatterie – Stand der Technik ist für die nächsten Jahre die Lithium-Ionen-Batterie – eine der Schlüsselkomponenten im Hybrid- und Elektrofahrzeug. Nicht zuletzt weil der Wertschöpfungsanteil der Batterie am Gesamtfahrzeug laut Nationaler Plattform Elektromobilität bei 30 bis 40 % liegt, brauche Deutschland Standorte für eine „integrierte Zell- und Batteriesystemproduktion“ (NPE, 2011, S. 18). Bislang gibt es einen entsprechenden Standort in Deutschland: In Kamenz (Sachsen) wurde in den letzten Jahren von Daimler und Evonik in drei eigenständigen Unternehmen eine Elektrodenproduktion (Litarion GmbH), eine Zellfertigung (Li-Tec Battery GmbH) und die Herstellung kompletter Batterien (Deutsche ACCUmotive GmbH & Co.KG) in unmittelbarer Nachbarschaft aufgebaut.

In der VDMA-Studie „Zukunftsfeld Elektromobilität“ wird in erster Linie auf die Zellfertigung, verantwortlich für fast 50 % der Batteriekosten, eingegangen (Schlick, Hertel, Guido, Hagemann, Bernhard, Maiser, Eric, & Kramer, Michael, 2011, S. 16). Die Fertigung von Batteriezellen lässt sich in acht Produktionsschritte unterteilen: Mischen, Beschichten, Kalandern, Schneiden, Trocknen, Fügen/Verpacken, Befüllen/Versiegeln, Formieren/Prüfen. Die Kernprozesse der Zellfertigung sind in erster Linie das Mischen und das Beschichten; diese beiden Prozesse besitzen den größten Einfluss auf die Qualität und Leistungsfähigkeit einer Batteriezelle. Bei diesen und den Folge-Prozessen steht die Sicherstellung gleichbleibender Qualität im Vordergrund. Die hochgesteckten Qualitätsziele der Automobilindustrie sind maßgeblich durch die Weiterentwicklung der Produktionstechniken zu erreichen, aber auch durch entsprechend qualifizierte, motivierte und sorgfältige Mitarbeiter in der Produktion (Exp.).

Kernkompetenzen von Automobilherstellern liegen in den der Zell- und Modulproduktion nachgelagerten Feldern „Battery Pack Design, thermisches Management, Batteriemangement, (Hard- und Software), Fahrzeugintegration“, so der Centerleiter Produktions- und Werkstofftechnik der Daimler AG (Steegmüller, 2011, S. 23). An der Schnittstelle zwischen Batteriesystem und Fahrzeug geht es um die Integration der Faktoren „Leistung“ (aus den Zellen), „Wärme“ (aus dem Kühlsystem) und Information (aus dem Steuergerät). Entsprechend steht die Produktion von Batteriesystemen (ab Packaging) im Fokus von ELAB. Der Produktionsprozess von Batteriesystemen kann gegliedert werden in die Batteriemodulmontage und den Aufbau des Batteriesystems von der Montage des Batteriepacks bis zum End-of-Line-Test (vgl. Kap. 4). Aus dem Produktionsprozess eines Batteriesystems lassen sich die Montage bzw. Verbindungs- und Fügetechnik (Arbeiten unter Spannung), Qualitätssicherung, Prüfung und Tests (Elektrik, Dichtigkeit) als wesentliche Kompetenzanforderungen ableiten.

Mit fortschreitendem Aufbau des Batteriesystems nimmt die Gefährdung durch elektrischen Schlag zu (Schurer, 2011, S. 7): Beim Modulaufbau ist ab der elektrischen Verbindung der Zellen ein Arbeiten unter Spannung bis 60 V erforderlich, bei der Batteriesystemfertigung ist ab Montage der Module bis zum End-of-Line-Test ein Arbeiten unter Spannung bis 600 V erforderlich (Fleischer, 2011, S. 38). Damit ist beim Batterie-Packaging eine Zusatzqualifikation „Umgang mit Hochvolt-Systemen“ zwingend erforderlich. In diesem Bereich ist eine hohe Automatisierung der Produktion zu erwarten, wie drei der befragten Experten betonen:

„Für die Batteriemontage ist das Arbeiten unter Spannung die Herausforderung – schon allein deshalb ist eine möglichst hohe Automatisierung notwendig“ (Exp.).

„Bei den Themen Automatisierung und Qualitätssicherung in der Batterieproduktion sehe ich große Handlungsbedarfe: Beim Zusammenbau der Batterie-Packs geht es um verschiedene Prüfungsaufgaben und um den End-of-Line-Test auf Dichtheit, Rüttelfestigkeit und elektrische Eigenschaften“ (Exp.).

„Bei zukünftiger Großserienproduktion von Batteriesystemen werden vollautomatisierte Montagelinien, vollautomatisierte Test- und Prüfeinrichtungen für Begin-of-Line- über Zwischenprüfungen bis hin zu End-of-Line-Tests eingesetzt“ (Exp.).

Ab größeren Stückzahlen ist demnach eine hochautomatisierte Batteriemontage zu erwarten. Für den Produktionsprozess werden aus heutiger Sicht zum einen gut qualifizierte Fachkräfte benötigt, u. a. auch Techniker oder Industriemeister mit hoher Prozesskompetenz, die auch in der Instandhaltung eingesetzt werden. End-of-Line und in der Nacharbeit werden Elektrotechniker eingesetzt, weitere Fachkräfte mit mittleren bzw. einfacheren Qualifikationen werden als Maschinenbediener und in der Produktionslogistik benötigt. Alles in allem – so einer der befragten Experten – sei der Perso-

nalbedarf in der Batteriemontage jedoch „überschaubar.“ Von den Kompetenzanforderungen her werden im bestehenden Montagewerken für Automotive-Batterien in erster Linie elektrotechnische Qualifikationen gesucht und – zumindest im Facharbeiterbereich – keine Fachkräfte mit (elektro-)chemischer Ausbildung.

Fachkräftebedarfe im Bereich der Traktionsbatterien sind differenziert nach den Bereichen „Blue-Collar“ und „White-Collar“ zu betrachten: „Die Blue-Collar-Bereiche können in der Produktion von Lithium-Ionen-Batterien mit den vorhandenen Facharbeiter-Qualifikationen inhaltlich gut abgedeckt werden. Zusätzlich erforderlich ist bei den Facharbeitern in der Regel nur die Hochvolt-Qualifizierung in den unterschiedlichen Stufen. In den hochqualifizierten White-Collar-Bereichen, insbesondere bei Wissenschaftlern und Ingenieuren, bestehen jedoch bereits große Engpässe. Speziell in der Batterieproduktion fehlt es vor allem am Prozess-Knowhow, wenn man Deutschland mit asiatischen Ländern vergleicht“ (Exp.).

Für die Frage, welche Ausbildungsberufe im Feld der Batteriemontage relevant sind, wird das gewerblich-technische Ausbildungsplatzangebot bei zwei Batterieproduzenten in Deutschland betrachtet:⁸

- Hoppecke Batterien (Brilon) bietet im technischen Bereich die Ausbildungsberufe Elektroniker/in, Industriemechaniker/in, Gießereimechaniker/in, Maschinen- und Anlagenführer/in, Technischer Produktdesigner/in, Fachinformatiker/in, Chemielaborant/in (Wareneingangsprüfung, Fertigungskontrolle, Qualitätssicherung) an. Als duale Studiengänge im technischen Bereich werden Elektrotechnik, Maschinenbau und Informatik angeboten (www.hoppecke.com).
- Varta Microbattery (Ellwangen) bietet für die technische Ausbildung folgende Berufe (mit Beispielen für Tätigkeitsfelder) an: Industriemechaniker/in (Instandhaltung, Einstellung, Umrüstung, Inbetriebnahme von Fertigungsanlagen), Werkzeugmechaniker/in (Wartung, Instandhaltung, Inbetriebnahme von Werkzeugen), Maschinen- und Anlagenführer/in (Einrichtung, Umrüstung, Bedienung, Wartung), Elektroniker/in Automatisierungstechnik (Integration, Inbetriebnahme, Instandsetzung von Automatisierungslösungen). Zudem wird der Bachelor of Engineering im Wechsel zwischen Theorie an der Dualen Hochschule und Praxis im Unternehmen angeboten (www.varta-microbattery.com).

⁸ Ausbildungsplätze werden von der Deutschen ACCUmotive im Produktionswerk in Kamen bis einschließlich 2012 nicht angeboten. Im benachbarten, in der Produktionskette vorgelagerten Werk von Li-Tec wird für die Zellfertigung gewerblich-technische Ausbildung in den Berufsbildern Chemielaborant/in, Chemikant/in, Fachkraft für Lagerlogistik, Industriemechaniker/in, Mechatroniker/in, Physiklaborant/in angeboten.

Zusammengefasst erfordern Traktionsbatterien im gesamten Produktionsprozess die Sicherstellung hoher, gleichbleibender Qualität. Wesentliche Kompetenzanforderungen beim Produktionsprozess des Batteriesystems (ab Packaging) sind Verbindungs- und Fügetechnik (Arbeiten unter Spannung), Qualitätssicherung, Prüfung und Tests (Elektrik, Dichtigkeit). Vollautomatisierte Montagelinien und vollautomatisierte Prüfeinrichtungen sind bei künftig höheren Stückzahlen zu erwarten.

5.2 Elektromotor

Für Elektromaschinen, die im elektrischen Antriebsstrang als Motor und Generator eingesetzt werden, kommen verschiedene Ausführungsformen in Betracht. Je nach Leistungsklasse und Anwendungsgebiet können im Automotive-Bereich Drehstrommotoren wie Synchronmaschinen, Asynchronmaschinen, Reluktanzmaschinen, aber auch Gleichstrommotoren eingesetzt werden (Wallentowitz, Freialdenhoven, & Olschewski, 2010). Das aufgrund eines hohen Wirkungsgrades und einer großen Leistungsdichte bei Automobilherstellern am häufigsten verwendete Aggregat ist der Synchronmotor, entweder in permanenterregter Ausführung (mit Magneten, für die Seltenmetalle benötigt werden) oder als fremderregter Synchronmotor. Über ähnlich gute Eigenschaften verfügt die Reluktanzmaschine. Der kostengünstigere Asynchronmotor spielt wegen des geringeren Wirkungsgrads im 80 %-Bereich und der niedrigeren Leistungsdichte bei Automobilherstellern bisher eher eine Nebenrolle. Auch die Gleichstrommaschine verfügt, im Vergleich zu Drehstrommotoren, über relativ schlechte technische Eigenschaften und kommt deshalb im Automotive-Bereich eher nicht zum Zuge.

Die hohen Qualitätsanforderungen der Automobil-OEM an die Antriebstechnik und damit auch an Elektromotoren sowie die Voll-Automatisierung der Elektromotoren-Fertigung sind die größten Herausforderungen für die Produktion und für deren Ausrüster. „Um die hohen Qualitätsanforderungen der Automobilindustrie zu erfüllen, müssen auch die Fertigungsprozesse anders ausgelegt werden. So kann z. B. durch den Schritt zur Vollautomatisierung auch für Motoren höherer Leistungsklassen die Reproduzierbarkeit hoher Produktqualität deutlich erhöht werden“ (Schlick, Hertel, Guido, Hagemann, Bernhard, Maiser, Eric, & Kramer, Michael, 2011, S. 29). Elektromotoren für den Fahrzeugantrieb werden in Deutschland derzeit z. B. von den Zulieferern Continental (in Gifhorn) und Bosch (in Hildesheim, u. a. für EM-motive GmbH, das Gemeinschaftsunternehmen von Daimler und Bosch) gefertigt, aber auch in Kleinserie von Siemens (in Bad Neustadt) sowie von den OEM Volkswagen (in Kassel) und BMW (in Landshut).

Die Hauptkomponenten von Elektromotoren sind Rotor und Stator, ergänzt durch weitere Bauteile wie das Gehäuse und die Motorsteuerung. Der Kernprozess bei der Produktion von Elektromotoren ist das Wickeln der Drahtspulen; weitere wichtige Produktionsschritte sind das Stanzen bzw. Laserschneiden der Blechpakete, das Laminiieren der Drahtspulen, die Fertigung des Gehäuses und die Endmontage des Elektromotors (Schlick, Hertel, Guido, Hagemann, Bernhard, Maiser, Eric, & Kramer, Michael, 2011, S. 27). Die Optimierung und weitere Automatisierung der Wickeltechnologie ist eine Aufgabe, die von den Entwicklern bei Elektromotorenherstellern und ihren Ausrüstern angegangen wird. Die Bedienung der weiterentwickelten Maschinen erfordert von den Beschäftigten in der Produktion entsprechende Kompetenzen, z. B. vom fachgerechten Bedienen der Maschinen über das Umrüsten bis hin zu Wartung und Instandhaltung.

Der permanenterregte Synchronmotor wird im Forschungsprojekt ELAB näher betrachtet. Der Montageprozess eines Elektromotors kann in die drei wesentlichen Schritte Statormontage, Rotormontage, sowie deren „Hochzeit“ in der Endmontage unterteilt werden (Möbius, 2012). Diese drei Elemente der Montagelinie des Elektromotors sind auch im Fabriklayout entsprechend räumlich gebündelt (vgl. Kap. 4):

- Statormontage: Statorblechpaket erstellen – Wicklung einbringen – Wicklung verschalten und prüfen – Wicklung imprägnieren – Montage in Gehäuse – Montage Hochvolt-Anschluss – Test / Prüfen der Richtigkeit / Vollständigkeit.
- Rotormontage: Rotorblechpaket erstellen – Montage Rotorwelle und Blechpaket – Magnete positionieren und fixieren – Wuchten – Test / Prüfen geometrische und magnetische Kennwerte.
- Endmontage: mechanische Montage Rotor in Gehäuse – Integration Sensoren – Leistungsanschluss montieren – Gehäuse schließen – End-of-Line-Test mit Wirkungsgradmessung, Leistungsmessung, Dichtigkeitstest, Funktionstest, elektrischem Anschlussstest.

Heute sind einige der Montageschritte in diesen Prozessketten nur teilautomatisiert oder als manuelle Tätigkeit (z. B. Verschaltung der Wicklungen) ausgelegt (Fleischer, 2011, S. 40). So ist bei heutiger Kleinserienfertigung von Elektromotoren sorgfältiges Arbeiten und, bei einzelnen Schritten wie dem Einbringen der Wicklungen, eine hohe Fingerfertigkeit der Werker erforderlich (Kohnhäuser, 2011, S. 117). Bei künftiger Serienproduktion mit höheren Stückzahlen, wie in der Automobilindustrie üblich, ist dagegen beim Großteil der dargestellten Montageprozesse von einer hohen Automatisierung auszugehen. So gilt z. B. für verschiedene Schritte der Statormontage: „Adequate process reliability is only achieved using a fully automatic system“ (Möbius, 2012, S. 473). Die detaillierte Prozessbeschreibung zeigt, dass neben dem Einrichten, Bedie-

nen, Überwachen und Warten einer solchen automatisierten Anlage als Aufgabe der direkten Produktionsbeschäftigten vor allem Kompetenzen wie Testen, Prüfen und Qualitätssicherung wichtig sind. Alles in allem ist für Automotive-Stückzahlen eine hochautomatisierte Herstellung von Elektromotoren mit starkem Robotereinsatz notwendig. Dazu werden dann mitarbeiterseitig vor allem Facharbeiter für die Instandhaltung und Qualitätssicherung sowie Maschinenbediener bzw. -führer benötigt (Exp.).

Demnach liegen die Anforderungen an die Beschäftigten in der Elektromotorenherstellung in erster Linie in konventionellen Montagekompetenzen, wie zwei betriebliche Fallstudien, generiert aus den Experteninterviews, zeigen:

- Fallbeispiel 1 – Automotive-Elektromotoren-Herstellung, auf 90.000 Synchronmotoren pro Jahr im Dreischichtbetrieb auf einer Fertigungslinie ausgelegt: In den direkten Fertigungs- und Montagebereichen werden anfangs – im Serienanlauf – vor allem Metall- und Elektro-Facharbeiter benötigt, z. B. „hinsichtlich Flexibilität und Engagement handverlesene Industriemechaniker und Elektriker“ (Exp.). In der „eingelaufenen“ Serienfertigung werden pro Schicht ca. 20 direkte Mitarbeiter eingesetzt. In den direkten Bereichen kann dann mit einem höheren Anteil von angelerntem Personal gearbeitet werden. Bei komplexeren Tätigkeiten, z. B. in der Wickelei, werden Facharbeiter eingesetzt. Bei den produktionsnahen indirekten Mitarbeitern werden zur Instandhaltung und Qualitätssicherung Mechatroniker und weitere Metall- und Elektrofacharbeiter und Techniker benötigt, in einfachen Logistik-Tätigkeiten werden dagegen vor allem ungelernete Mitarbeiter eingesetzt. Als indirekte Mitarbeiter in Planung und Engineering werden je nach Art der Aufgabe Industriemeister mit Metall- oder Elektroberufen, Techniker und Maschinenbauingenieure benötigt.
- Fallbeispiel 2 – Produktion Synchronmaschine: Für die Tätigkeiten Bestückung, Schraubprozesse und Montage werden angelernte Werker benötigt. Dazu kommt ein Facharbeiter mit einem Metall-Beruf als Teamleiter, der direkt an einer Fertigungslinie mitarbeitet und bei Engpässen unterstützt. Für die Qualitätssicherung ist ein Auditor pro Fertigungslinie zuständig. Ein Meister übernimmt die Betreuung der Linien und Mechatroniker bzw. Schlosser als Instandhalter sind für technischen Support und Störungsbehebung zuständig. Im indirekten Bereich kommen Maschinenbau- bzw. Elektrotechnikingenieure als Fertigungsplaner, Prozessentwickler und Projektleiter hinzu.

Die Ausbildung in Produktionsstätten für Elektromotoren erfolgt in verschiedenen Berufsbildern, z. B. von den klassischen industriellen Elektronikerberufen über Industriemechaniker/in und Mechatroniker/in bis hin zu Maschinen- und Anlagenführer/in. Für die Kernkompetenz „Wickeln“ bei der Elektromaschinenherstellung gab es bis

1987 den Beruf Elektromaschinenwickler/in, der 1972, als der manuelle Anteil noch sehr hoch war, den Vorgängerberuf Elektrowickler/in abgelöst hat. Heutiges, deutlich höher automatisiertes Wickeln wird vor allem vom Berufsbild Elektroniker/in für Maschinen und Antriebstechnik abgedeckt, aber auch von Berufsbildern wie Elektroniker/in für Geräte und Systeme. Elektroniker für Maschinen und Antriebstechnik arbeiten hauptsächlich bei Herstellern von Elektromaschinen und Elektromotoren. Sie richten z. B. Fertigungsmaschinen für Ankerwicklungen von Elektromotoren ein, nehmen Maschinen- und Wickeldaten auf, stellen die benötigten Wicklungen her, führen Fehlerdiagnosen durch und nehmen die elektrischen Maschinen in Betrieb (<http://berufenet.arbeitsagentur.de>).

Bei einem der betrieblichen Fallbeispiele wird im Bereich Elektromotoren vor allem in den gewerblich-technischen Berufsbildern Elektroniker/in für Geräte und Systeme und Industriemechaniker/in (bei dem die Prozesskenntnis Wickeln innerbetrieblich vertieft wird) ausgebildet. Seit zwei Jahren werden hier keine Mechatroniker mehr ausgebildet, weil bei diesem Ausbildungsgang die „Vermittlung von Elektro-Kompetenzen nicht genügend in die Tiefe geht“ (Exp.), weshalb der Betrieb bedarfsorientiert auf den Elektronikerberuf umgestellt hat.

Bei einem anderen betrieblichen Beispiel, einem Komponentenwerk eines OEM, soll der Herausforderung Elektromobilität u. a. durch die Aufnahme einer Elektromotorenproduktion begegnet werden. Um dem Technologiewandel zu begegnen, wurde der „Aufbau transformativer Ressourcen“ als „wichtiger strategischer Stellhebel“ identifiziert (Stumpf, 2010). Durch den Aufbau neuer Kompetenzen soll vorhandene Prozesskompetenz in neuen Produkttechnologien zur Anwendung kommen. Als Beispiel explizit benannt werden das Gießen von Gehäusen für E-Antriebe (auf Basis des Gießens von Getriebe- und Kurbelgehäusen) und die Montage von E-Antrieben (auf Basis der vorhandenen Prozesskompetenz Getriebemontage). Wesentliche Elemente der vorgeschlagenen Transformationsstrategie sind:

- Aufbau transformativer Personalressourcen durch Qualifikation: Einsatz von Qualifizierungsmatrizen zur Weiterbildung der heutigen Belegschaft, Integration von Ausbildungsinhalten mit Bezug zum Elektromotorenbau in bestehende Ausbildungsberufe sowie verstärkte Ausbildung in elektrotechnischen Berufen.
- Aufbau transformativer Technologieressourcen durch Entwicklung und Fertigung von Prototypen: „Durch die frühzeitige Produkt- und Fertigungsprozessentwicklung der Elektrotraktion im Prototypenstadium erwirbt das Komponentenwerk technologische Kompetenzen, welche die gesamte Wertschöpfungskette abdecken. Die Erkenntnisse der Prototypenphase fließen in die Gestaltung der Serie ein“ (Stumpf, 2010).

- Aufbau transformativer Finanzressourcen durch Innovationsfonds: Ein unternehmensspezifischer Fonds zur Förderung von Innovationen unterstützt die Projektdurchführung.
- Aufbau transformativer Organisationsressourcen durch Kommunikation und neue Arbeitsformen: Kommunikation der Rolle des Werks im Technologiewandel ist für das Selbstverständnis der Beschäftigten und die Wahrnehmung des Standorts durch die Stakeholder von zentraler Bedeutung. Gleichzeitig nimmt die Arbeit in Netzwerken und in Projekten eine immer größere Rolle ein.

Inzwischen ist die Prototypenproduktion von Traktionselektromotoren am Werkstandort aufgebaut und im Rahmen von Auswahlprozessen des make-or-buy-committees konnte die 2012 anlaufende Serienfertigung von zwei Produkten gesichert werden (Exp.).

5.3 Leistungselektronik

Rein elektrische Antriebskonzepte wie auch Hybrid-Antriebskonzepte benötigen Leistungselektronik für die Ansteuerung des elektrischen Traktionsmotors. Als Leistungselektronik wird die Umformung und Steuerung elektrischer Energie mittels elektronischer Bauelemente bezeichnet. In den entsprechenden Steuergeräten wird elektrische Energie auf die für den elektrischen Antriebsmotor passende Spannung und Frequenz umgewandelt. Die Herausforderung besteht darin, diese Komponente mit geringer Verlustleistung, geringem Gewicht und in kleiner Baugröße zu bauen.

Leistungselektronik besteht im Wesentlichen aus folgenden Baugruppen (Gröter, Lichtermann, & Stützle, 2011):

- Invertermodul als Wechselrichter-Leistungsteil mit Zwischenkreiskondensator und Leistungsschalter-Modulen.
- DC/DC-Konverter-Modul, das der 12V-Bordnetz-Versorgung aus dem Hochvolt-Traktionsbordnetz dient.
- Schaltungsmodule der Steuerung.
- Software.

Für die Montage von Leistungselektronik werden in der Regel die standardisierten elektronischen Bauteile wie Kondensatoren, Widerstände etc. als Commodities zugekauft. Sofern die Chips nicht zugekauft werden, erfolgt eine spezialisierte Chip-

Fertigung inhouse – wie z. B. beim Bosch-Leitwerk für Leistungselektronik in Reutlingen in der eigenen „Wafer-Fab“.

Die Anforderungen an die Montage liegen zum einen im Bereich der Bauelemente-Bestückung, zum anderen werden Molding-Prozesse als spezifische Herausforderung hervorgehoben, weil in den Steuergeräten feinste Strukturen mit hohen Strömen kombiniert und vergossen werden. In den verschiedenen Montageschritten werden zahlreiche angelernte Mitarbeiter (z. B. „Operator“ als Bestücker) eingesetzt, dazu kommen Facharbeiter mit Elektronik- oder Mechatronik-Ausbildung (die z. B. hoch- und vollautomatisierte Anlagen überwachen und instandhalten oder in den Bereichen Prüfen, Testen, Qualitätssicherung eingesetzt werden).

Bei der Definition von Kompetenzanforderungen und entsprechenden Qualifizierungskonzepten gibt es eine Diskrepanz zwischen Entwicklungsbereichen und Fertigungsbereichen: Für die Entwicklung von Leistungselektronik für Hybrid- und Elektrofahrzeuge sind bei den höheren Qualifikationsstufen sowohl bei OEM als auch bei Komponentenherstellern neue Kompetenzanforderungen klar definiert und sie fließen in entsprechende Qualifikationsmaßnahmen ein. Ein Beispiel im Großraum Stuttgart ist das Robert Bosch Zentrum für Leistungselektronik, das 2009 an den Standorten Reutlingen und Stuttgart von der Hochschule Reutlingen, der Universität Stuttgart und der Robert Bosch GmbH gegründet wurde. Der Verbund Leistungselektronik umfasst sieben Lehrstühle, von denen fünf neu eingerichtet wurden. Die enge Kooperation der Hochschulen mit Bosch ermöglicht eine industriennahe Ausbildung in Studiengängen mit den Schwerpunkten Leistungs- und Mikroelektronik. Neben einem Stipendienprogramm für ausgewählte Studierende besteht zur Finanzierung des Studiums das Angebot von Bosch als Werkstudent/-in tätig zu sein.

Neue Kompetenzanforderungen für die Produktion von Leistungselektronik für mittlere Qualifikationen und für Angelernten-Tätigkeiten sind dagegen bisher kaum definiert. Spezifische Schulungsbedarfe für Techniker, Facharbeiter und Maschinenbediener müssen zum gegenwärtigen Stand erst noch ermittelt werden, hier gilt es neue Kompetenzanforderungen durch Entwickler zu definieren und dafür Schnittstellen zwischen Entwicklung, Personalabteilung und Betriebsrat zu schaffen (Exp.). Als Maschinenbediener und Bestücker („Operator“) werden häufig angelernte Mitarbeiter eingesetzt. Diese sind nach den bisherigen Erfahrungen bei der Produktion von Leistungselektronik für Automotive-Anwendungen zwar weniger mit neuen technischen Anforderungen konfrontiert. Sie müssen sich aber neuen ergonomischen Anforderungen stellen, bedingt durch das relativ hohe Gewicht von Automotive-Hochvolt-Steuergeräten.

Bei einem der betrieblichen Fallbeispiele, in dem u. a. Automotive-Leistungselektronik gefertigt wird, werden im gewerblich-technischen Bereich die Berufe Mechatroniker/in, Elektroniker/in für Geräte und Systeme, Mikrotechnologe/in und Industriemechaniker/in als Ausbildungsgänge angeboten, wobei der Fokus klar bei den erstgenannten liegt.

Exkurs: Montagearbeit im Bereich der Leistungselektronik – das Beispiel Semikron

Am Beispiel der Montagearbeit im Bereich der Leistungselektronik wurde vor einigen Jahren die „Qualifizierung für die Montage von morgen“ (Hörner, Holm, & Pirner, 2009) untersucht; eingebettet in das Projekt „Wettbewerbsfähige Produktionskonzepte und Montageverfahren für leistungselektronische Systeme in globalen Märkten“ (Feldmann, 2009), das im Rahmen der BMBF-Förderlinie „Forschung für die Produktion von morgen“ im Themenfeld „Kompetenz Montage“ durchgeführt wurde.

Eine Fallstudie bei Semikron in Nürnberg, einem führenden Hersteller von Hightech Leistungshalbleitern, kam zum Ergebnis, dass insbesondere in den Fertigungsbereichen die Aus- und Weiterbildung immer wichtiger wird. „Komplexe Arbeitsabläufe und Prozesse sowie ein zunehmender Automatisierungsgrad erfordern eigenverantwortliche Prozessbeherrschung, Flexibilität und fundiertes Fachwissen der Mitarbeiter“ (Hörner, Holm, & Pirner, 2009, S. 248). Der Fallstudien-Betrieb Semikron entschloss sich deshalb dazu, Montagebeschäftigten ohne bzw. mit fachfremdem Berufsabschluss eine Ausbildung zum Maschinen- und Anlagenführer mit anschließender Zusatzqualifizierung zur Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten anzubieten.

Semikron verfolgt damit mehrere Ziele: „Mitarbeiter sollen dahingehend ausgebildet werden, neue Technologien und technische Innovationen besser und schneller bewältigen zu können und den steigenden Anforderungen an Produktqualität und Produktivität noch mehr gerecht zu werden. Außerdem wird eine höhere Flexibilität angestrebt, so dass beispielsweise Einsätze in anderen Produktionsbereichen oder auch an anderen Anlagen ohne lange Einarbeitungszeit möglich werden“ (Hörner, Holm, & Pirner, 2009, S. 249). Vorteile für die Auszubildenden liegen darin, dass sie ihre Chancen auf dem internen sowie externen Arbeitsmarkt deutlich erhöhen und ihnen klare und transparente Perspektiven für berufliche Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Laut „Berufenet-Steckbrief“ der Bundesagentur für Arbeit sind Maschinen- und Anlagenführer/innen für die Einrichtung, Umrüstung und Bedienung von Maschinen und Anlagen zuständig. Dabei bereiten sie Arbeitsabläufe vor, überprüfen Maschinenfunktionen und nehmen Maschinen in Betrieb. Ferner überwachen sie den Produktionsprozess und bedienen und steuern den Materialfluss. Die entsprechend ausgebildeten Fachkräfte sind damit für flexible und komplexer werdende Montagetätigkeiten besser qualifiziert. Das nicht im Berufsbild enthaltene Modul „Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten“ wurde in das Qualifizierungskonzept zu-

sätzlich aufgenommen, weil entsprechende Elektrokenntnisse „für die beruflichen Tätigkeiten bei Semikron sinnvoll sind“ (Hörner, Holm, & Pirner, 2009, S. 252).

Im Resümee zeigt die Entwicklung und Umsetzung der Qualifizierungsmaßnahme bei Semikron „eindrücklich, dass ,auch Un- und Angelernte jene oftmals unterstellten Schwellen zu formalisierter Weiterbildung überschreiten ..., wenn die entsprechenden Anreize (Aufgabenvielfalt, Partizipationschancen, berufliche Entwicklungsmöglichkeiten, Kommunikationschancen) in der Arbeit gegeben sind“ (Hörner, Holm, & Pirner, 2009, S. 270).

5.4 Brennstoffzellensystem

Beim Brennstoffzellenfahrzeug werden zusätzlich zu den betrachteten Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs das Brennstoffzellensystem und der Wasserstofftank als weitere wesentliche Komponenten benötigt.

Herzstück des Brennstoffzellensystems ist der Stack, ein Stapel von einigen Hundert einzelnen Brennstoffzellen, der in einem spritzwassergeschützten Gehäuse verpackt ist. Neben dem Brennstoffzellensystem steht bei der folgenden Betrachtung der Wasserstofftank im Zentrum. Die Produktion von Brennstoffzellensystemen für den Automotive-Bereich und von Wasserstofftanks erfolgt bisher in überschaubaren Stückzahlen und mit entsprechend geringer Automatisierung. Die Abläufe in der Montage sollen jedoch vom handwerklichen Prototypenbau auf industrielle Verfahren und Prozesse umgestellt werden (Thomas, 2010). Entsprechend ist die Fertigung in industriellem Maßstab derzeit im Aufbau, den Start der Serienproduktion hat z. B. Daimler für 2013 angekündigt.

Die einzelnen Komponenten eines Brennstoffzellenantriebs werden bisher in der Regel jeweils von einem Lieferanten entwickelt, getestet und bereitgestellt. „Die Aufgabe des Fahrzeugherstellers besteht in der Integration aller Komponenten in das Fahrzeug und die Entwicklung der Steuerungselektronik, die dem Fahrzeug die herstellereigenen Eigenschaften verleiht“ (BzA-BW & WRS, 2009, S. 14). Die Stack-Montage, also der Zusammenbau von Bauteilen wie Bipolarplatten und Membran-Elektroden-Einheiten, „obliegt dem Systemlieferanten, der die Verantwortung für die Funktion und Qualität des Stacks trägt“ (BzA-BW & WRS, 2009, S. 21). Die Stack-Montage könnte aber auch in der Aggregateproduktion eines OEM stattfinden. Die Frage ob OEM oder Systemlieferant ist noch offen. Die Studie „Brennstoffzelle in der Region Stuttgart – Analyse und Ausbau der Wertschöpfungsketten“ kommt für die Stack-Herstellung zum Resümee, dass in der Region alle Kompetenzen vorhanden sind und sieht Handlungsbedarf darin, interessierte Unternehmen zu einem Projekt „Baden-Württemberg-

Stack“ zusammenzuführen mit dem Ziel, eine Stackproduktion in Baden-Württemberg zu etablieren (BzA-BW & WRS, 2009, S. 22).

Die Fertigung von Brennstoffzellenstacks ist mit einem starken Wandel der klassischen Produktionstechnologien im Bereich Antriebsstrang verbunden. Für die Antriebsstrangproduktion neue Prozesse wie „Dünnschicht-Schnittprozesse, Formpressen, Dünnschicht-Verarbeitung, Laminierprozesse, elektrochemische Beschichtung“ müssen bei der Fertigung bis zum Stack beherrscht werden (Stegmüller, 2011, S. 29). Neben den technischen Kompetenzen werden von den Beschäftigten insbesondere „Zuverlässigkeit, Sorgfalt und Umsicht“ in der Bearbeitung gefordert (Exp.). Im Produktionsprozess erfährt die Qualitätssicherung einen hohen Stellenwert, gleichzeitig sind die Reinheitsanforderungen sehr hoch: „Wenn nur eine Bipolarplatte verunreinigt und defekt ist, wird das ganze Stack zum Ausschuss“ (Exp.). Die Kompetenzanforderung „Umgang mit Hochvolt-Systemen“ ist in den Produktionsprozessen der Bauteile noch nicht gefragt. Die Brennstoffzellensysteme stehen erst ab Inbetriebnahme unter Strom, so dass die Fachkräfte ab diesem Produktionsschritt entsprechend geschult sein müssen. Bei den Qualifizierungskonzepten des Weiterbildungszentrums Brennstoffzelle Ulm (WBZU) steht entsprechend „theoretisches und praktisches Fachwissen über den sachgemäßen und sicheren Umgang mit Wasserstoff und Brennstoffzellen“ im Zentrum. Es werden sowohl elektrochemische Grundlagen und thermodynamische Zusammenhänge vermittelt als auch das Betriebsverhalten und Sicherheitsanforderungen an Testständen aufgezeigt (Exp.).

Bereits Anfang der 2000er Jahre wurden „relevante Qualifikationen für Brennstoffzellen-Produktion“ bei einem Expertenworkshop im Hause Daimler ermittelt. Im Ergebnis wurde ein dringender Bedarf für die Konzeptionierung von Aus- und Weiterbildungsangeboten gesehen, „damit eine Qualifizierungslücke vermieden werden kann“ (Schmidt, Pack, Schaezle, & Staudacher, 2002, S. 17). Als relevant eingestuft wurde u.a.:

- Verantwortungsvolle Grundhaltung bezüglich Qualität und neuer Technik
- Hochvolt-Technik – Grundkenntnisse und Zusammenhänge, Ursache-Wirkungsketten, Gefahren, Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten
- Elektrochemische Grundlagen, Arbeiten an Energiespeichern
- Grundlagen Druckgasanlagen, Verschraubungstechnik an Hochdruckanlagen, Prüfvorgänge bei Gasundichtheit, Explosionsschutz, Brandschutz
- Kühlung und Kühlsysteme
- Materialkenntnisse
- Sicherheitsvorkehrungen und Sensorik

Bis heute wurden in Werksbereichen, in denen Brennstoffzellen montiert oder verbaut werden, verschiedene brennstoffzellenspezifische Qualifizierungsmodule implementiert. Entsprechende Erfahrungen liegen für die Pkw-Montage vor. Bisher erfolgt die Montage von Brennstoffzellenautos in kleinen Stückzahlen unter Manufakturbedingungen. Für die Mitarbeiter in einer solchen manuell geprägten Pkw-Montage gibt es eine „Sicherheitsunterweisung Hochvolt und Brennstoffzelle“ und eine „Sicherheitsunterweisung für Druckbehälter“. Für die Beschäftigten in der Inbetriebnahme, Prüfung und Nacharbeit ist eine Weiterbildung zur „H2-Fachkraft“ implementiert. Für die Pkw-Montage gilt, dass „ein Mitarbeiter, der heutige Fahrzeuge zusammenbaut, auch ein Brennstoffzellenauto zusammenbauen kann“ (Exp.). „In der Linie gibt es keine prinzipiell neuen Anforderungen an Montagemitarbeiter, das ist alles handhabbar wie bei konventionellen Fahrzeugen. Aber am Linienende, ab der Inbetriebnahme sind dann höherqualifizierte E-Spezialisten erforderlich“ (Exp.).

Spezifische Kenntnisse sind beim aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) produzierten Wasserstofftank erforderlich. Synergien zu modernen CFK-Leichtbau-Technologien in anderen Automotive-Bereichen, z. B. dem Karosserieleichtbau, sind hier absehbar. Als Ausbildungsberuf in diesem Bereich gewinnt das Berufsbild „Verfahrensmechaniker/in – Kunststoff- und Kautschuktechnik“, in dem Faserverbundwerkstoffe intensiv behandelt werden, an Bedeutung (Exp.).

6. Bildungsinfrastruktur in der Standortumgebung

Neben den unmittelbaren Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs für eine idealtypische Aggregateproduktion wird im Forschungsprojekt ELAB auch die „Standortumgebung“ betrachtet. Die Standortumgebung wird hier von zwei Seiten betrachtet:

- Was bedeutet der Technologiewandel zur Elektromobilität für die Standortumgebung?
- Welche Rolle spielt die Standortumgebung für den Technologiewandel?

Für die qualitative Analyse im Bereich „Kompetenzanforderungen und Qualifikationen“ sind, aus diesen übergeordneten Fragestellungen abgeleitet, zwei Fragen im Kontext „Standortumgebung“ relevant. Zum einen im Sinne einer „Bedarfsanalyse Standortumgebung“ die Frage, wie Institutionen der Standortumgebung den Technologiewandel durch eine Verbesserung von Standortfaktoren (wie z. B. Bildungsinfrastruktur) unterstützen können. Zum anderen im Sinne einer „Kontextanalyse Standortumgebung“ die übergreifende Fragestellung nach der zukünftigen Lage am Arbeitsmarkt und Fachkräfteengpässen in Folge des demografischen Wandels, die im folgenden Teilkapitel behandelt wird.

Standortfaktoren wie Bildungsinfrastruktur, Arbeitsmarktbedingungen, Flächenverfügbarkeit, FuE-Infrastruktur (Hochschulen, Forschungsinstitute), Innovationsbedingungen (Wissenstransfer-Einrichtungen), Technologieförderung und Netzwerke (Unternehmen, Betriebsräte, regionale Akteure, etc.) sind bedeutende Elemente der wirtschaftsbezogenen Standortumgebung. Ein spezifisch für den Technologiewandel zur Elektromobilität zusätzlich wichtiger Faktor für die Standortumgebung ist der Aufbau einer geeigneten Lade- bzw. Wasserstoffinfrastruktur: „Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs bedingt die Entwicklung und den Aufbau einer geeigneten Ladeinfrastruktur. ... Der Aufbau einer durchgängigen Lade- sowie Wasserstoffinfrastruktur ist essenziell. Die Technologie wird sich dort zuerst ausbreiten und durchsetzen, wo auch die Infrastruktur vorhanden ist“ (Spath, et al., 2011, S. 69).

6.1 Vorbemerkung zum Begriff „Standortumgebung“

Unternehmenserfolg hängt nicht nur von unternehmensbezogenen Faktoren und betrieblicher Effizienz ab; auch der regionale Kontext, das Unternehmensumfeld spielt eine zentrale Rolle (Porter, 2008). Der ELAB-Untersuchungsgegenstand „Standortum-

gebung“ umfasst die für eine Antriebsstrangproduktion relevanten Umfeldbedingungen mit Fokus auf die Region, die als Arbeitsmarkt- oder Wirtschaftsraum gekennzeichnet ist. Ein „regionales Innovationssystem“ bzw. ein „Automotive-Cluster“⁹, wie es in Baden-Württemberg vorliegt, könnte beispielsweise eine solche „Standortumgebung“ räumlich fassen. Bestandteile der Standortumgebung sind damit zum einen Unternehmen und ihre Beschäftigten, hier vor allem die Zulieferer rund um die Antriebsstrangproduktion, zum anderen Institutionen, die die Umfeldbedingungen der Standortumgebung beeinflussen und gestalten. Standortfaktoren wie Bildungsinfrastruktur, Arbeitsmarktbedingungen, Flächenverfügbarkeit, Forschungsinfrastruktur, Innovationsbedingungen, Netzwerke charakterisieren die Umfeldbedingungen der Standortumgebung. Gestaltungsmöglichkeiten für diese Umfeldbedingungen werden von verschiedenen Akteuren in Stadt und Region wahrgenommen. Das Spektrum von solchen „wirtschaftsfördernden Akteuren im Bereich Elektromobilität“ (Esch, 2011) setzt sich aus Akteursgruppen wie Wirtschaftsförderungseinrichtungen der öffentlichen Hand (kommunal und regional), Netzwerkorganisationen, Ausbildungseinrichtungen, Forschungseinrichtungen und Interessenverbänden zusammen.

Auf Politik und Wirtschaftsförderung bezogen sind mit der „Standortumgebung“ verschiedene räumliche Ebenen adressiert, in Deutschland geht das Spektrum von der Region über das Bundesland bis hin zum Bund. Es gibt bei diesen Ebenen vielfach keine trennscharfen Abgrenzungen bei Zuständigkeiten, so können z. B. wirtschaftspolitische Impulse von allen Ebenen gesetzt werden. Die folgenden Beispiele sollen Hinweise für Zuständigkeiten geben:

- Die Ebene Region ist für Regionalplanung und regionale Wirtschaftsförderung zuständig. In der Region Stuttgart¹⁰ werden beispielsweise von Regionalpolitik

⁹ 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 („Coopetition“) 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 sie bewirken in der Regel positive Arbeitsmarkteffekte.

¹⁰ Für die Region Stuttgart wurde unter der Überschrift „Umbruch in der Automobilregion“ bereits 2009 eine erste Wirkungsabschätzung des Technologiewandels zur Elektromobilität

und Wirtschaftsförderung verschiedene Aktivitäten für Unternehmen, für Gründer und für Investoren angeboten: Clusterförderung („CARS“ – „Clusterinitiative Automotive Region Stuttgart“), Ansiedlungsbetreuung (z. B. Portal für Gewerbeimmobilien), Fachkräftesicherung (mit Services in den Themenfeldern Mitarbeiterbindung, Qualifizierung, Rekrutierung), Innovationsförderung und Netzwerke (z. B. Regionale Kompetenz- und Innovationszentren in verschiedenen Branchen- und Technologiefeldern). Gemeinsam mit E-mobil-BW koordiniert die WRS das baden-württembergische Schaufenster Elektromobilität „LivingLab BW^e mobil“ (s. u.).

- Die Ebene Bundesland ist für die Politikbereiche Bildung, Arbeitsmarkt, Wirtschaft, Forschung etc. zuständig, oftmals im Zusammenspiel mit der Bundesebene, die z. B. für ein einheitliches System der Aus- und Fortbildung zuständig ist (Berufsbildungsgesetz und Ausbildungsordnungen). In Baden-Württemberg¹¹ hat beispielsweise die Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie „E-mobil-BW GmbH“ (als von der Landesregierung gegründete zentrale Beratungs- und Servicestelle) Aufgaben inne wie Vernetzung, Wissenstransfer, Innovationsförderung, Bildungsausbau, Standortmarketing, Imagepflege. E-mobil-BW koordiniert zwei bedeutsame Initiativen: (1) den „Cluster Elektromobilität Süd-West“, der erfolgreich am Spitzencluster-Wettbewerb des BMBF teilgenommen hat und mit 40 Mio. Euro für Forschungsprojekte gefördert wird und (2) „LivingLab BW^e mobil“, das am Wettbewerb „Schaufenster Elektromobilität“ der Bundesregierung erfolgreich teilgenommen hat mit einem Projektvolumen von insgesamt gut 150 Mio. Euro.

Die Betrachtung der Standortumgebung ist in drei inhaltliche Schwerpunkte gegliedert, die auch von den im Rahmen von ELAB befragten Experten in den Vordergrund gerückt wurden: Beim Branchenumfeld, bei der Zuliefererstruktur, werden insbesondere Wirkungen der Elektrifizierung auf die kleinen und mittleren Unternehmen be-

auf den Automotive-Cluster Region Stuttgart im Rahmen des Strukturberichts Region Stuttgart 2009 veröffentlicht (Dispan, Krumm, & Seibold, Strukturbericht Region Stuttgart 2009. Entwicklung von Wirtschaft und Beschäftigung. Schwerpunkt: Umbruch in der Automobilregion, 2009).

¹¹ Eine Analyse von „Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität“ legte Fraunhofer IAO im Rahmen der Strukturstudie BWe Mobil 2011 vor (Spath, et al., 2011). „Wirkungen der Elektromobilität auf regionale Wertschöpfungsketten und auf Beschäftigung in Baden-Württemberg“ untersuchten IMU Institut und FAST für die IG Metall (Dispan & Meißner, Elektromobilität: Wirkungen auf regionale Wertschöpfungsketten und auf die Beschäftigung in Baden-Württemberg, 2011).

trachtet, also auf die KMU-Zulieferer (Kap. 8). Aus dem Bereich der Standortfaktoren ist – auf den technologischen Wandel bezogen – die Bildungsinfrastruktur hervorzuheben. Anschließend wird die Thematik „Arbeitsmarkt und demografischer Wandel“ mit Blick auf das zukünftige Erwerbersonenpotenzial diskutiert.

6.2 Bedarfsanalyse Bildungsinfrastruktur

Die Bildungsinfrastruktur – insbesondere auf den Produktionsstandort bezogen – stand beim Forschungsprojekt ELAB im Zentrum und wird im Folgenden im Sinne einer Bedarfsanalyse vertieft.¹² Ein Ausgangspunkt für diese Schwerpunktsetzung ist die Erkenntnis, dass nicht rechtzeitig oder nicht in der richtigen Qualität zur Verfügung stehende Kompetenzen der Beschäftigten das Ausschöpfen von Potenzialen aus der Einführung neuer Technologien behindern kann und dass hier auch Aufgabenfelder regionaler Akteure liegen: „Eine ‚Synchronisation‘ der Personalentwicklungsaktivitäten mit denen der Technologie-Planung ist daher angezeigt. Allerdings kann diese Aufgabe nicht nur alleine in der Verantwortung der Betriebe liegen, sondern muss von den regionalen und überbetrieblichen Akteuren durch die Bereitstellung entsprechender und regionaler Qualifizierungsmöglichkeiten sowie -potenziale (an Fachkräften) unterstützt werden. Idealerweise wird regionale, zukunftsorientierte Technikfolgenabschätzung in relevanten Technik- oder Anwendungsfeldern wie bspw. ... der Elektromobilität auf zukünftige Qualifikationsbedarfe heruntergebrochen. Darauf basierend könnten die regionalen Träger der Aus- und Weiterbildung gezielt Strategien entwickeln, wie diese Bedarfe durch geeignete Bildungs- und Qualifizierungsangebote gedeckt werden könnten. Ein solches Vorgehen erfordert ein frühzeitiges Einbinden der regionalen Unternehmen – z. B. im Rahmen der ... unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit“ (Kleine, Kinkel, Som, Bräunlich, & Kräusel, 2010, S. 85).

In diesem Sinne lassen sich aus den Ergebnissen der Wirkungsanalyse „Kompetenzanforderungen und Qualifikationen“ mehrere spezifisch auf die Bildungsinfrastruktur bezogene Anforderungen ableiten. Demnach sollten in der Standortumgebung gute Voraussetzungen geschaffen werden, indem z. B. neue, elektromobilitäts-spezifische Qualifikationsinhalte in die berufliche Bildung integriert werden. Von befragten Experten hervorgehoben wurde auch, dass Bildungseinrichtungen gerade in Automotive-

¹² Auf weitere strukturelle Standortbedingungen geht die Strukturstudie BW^e-mobil (Spath, et al., 2011) ein, z. B.: Förderbedingungen im systemischen Ansatz (S. 44), Forschungsinfrastruktur (S. 45), Aufbau Lade-/Wasserstoffinfrastruktur (S. 69), Netzwerke und Cluster (S. 71).

Regionen vielfach stark auf den klassischen Metall- und Mechanik-Bereich orientiert sind. „Es ist an der Zeit, dass sich die überbetrieblichen Bildungsstätten für die Metallindustrie viel stärker in Richtung elektrotechnische Erfordernisse öffnen und die Vermittlung entsprechender Kompetenzen in ihr Angebot aufnehmen“ (Exp.). Im dualen Ausbildungssystem sollten neben den Betrieben auch die Berufsschulen neue Inhalte wie den Umgang mit Hochvolt-Systemen integrieren, wie z. B. in der Region Stuttgart mit der „Zusatzqualifikation Fachkraft für elektrotechnische Arbeiten an Hochvolt-Systemen“ implementiert. Im Bereich der Weiterbildung sind koordinierte Angebote und eine Standardisierung von Qualifizierungsinhalten und -abschlüssen erforderlich. Um die Bildungsinfrastruktur auf den Technologiewandel auszurichten ist es wichtig – so auch ein Ergebnis der Nationalen Plattform Elektromobilität – ein Netzwerk aller Akteure der beruflichen und akademischen Bildung zu bilden und so abgestimmte Konzepte hinsichtlich zukünftiger Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen sowie eine koordinierte, transparente Umsetzung zu erreichen.

Beim Wettbewerb „Schaufenster Elektromobilität“, an dem sich Ende 2011 Regionen aus Deutschland beteiligen konnten, war als ein inhaltlicher Schwerpunkt ein „strategischer Beitrag zu Ausbildung und Qualifizierung“ gefordert (Bundesanzeiger, 2011). Im April 2012 wurde bekanntgegeben, dass im Rahmen des bundesweiten Programms „Schaufenster Elektromobilität“ die vier Regionen Baden-Württemberg, Berlin/Brandenburg, Niedersachsen und Bayern/Sachsen gefördert werden. Baden-Württemberg bekam von der Bundesregierung im Wettbewerb von 23 Regionen den Zuschlag für das Konzept „LivingLab BW^e mobil“ (E-mobil-BW & WRS, 2012). Ziel des Schaufensters „LivingLab BW^e mobil“ ist es, Elektromobilität erfahrbar zu machen und vor Ort sichtbare Pilot- und Demonstrationsprojekte für nachhaltige Mobilität zu initiieren und umzusetzen. Die Bedeutung für die Standortumgebung liegt auf der Hand: Bürgerinnen und Bürger sollen von Elektromobilität als nachhaltiger Mobilität auf Basis regenerativer Energien begeistert werden und Baden-Württemberg soll eine zentrale Rolle auf dem Weg Deutschlands zum Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität spielen. Die Thematik „Ausbildung und Qualifizierung“ ist einer von neun Konzeptbausteinen. Verschiedene Bildungsprojekte richten sich an alle Alters- und Qualifikationsstufen. Die zwei praxisorientierten Projekte „Regionale Bildungsplattform“ und „Genius – Elektromobilität in der Schule“ haben zum Ziel, Kinder und Jugendliche für nachhaltige (Elektro-)mobilität zu begeistern. Durch ein „mobiles Schulungszentrum“ und eine „Schauwerkstatt und Bildungs-Roadshow“ sollen gewerbliche Beschäftigte und Handwerksunternehmen kompetent über das Thema informiert werden. Eine „e-Fahrschule“ spricht die „zukünftige mobile Generation an“ (E-mobil-BW & WRS, 2012, S. 11). Mit diesen Bausteinen soll gewährleistet werden, dass die Sensibilisierung für die neuen Technologiethemata rund um Elektromobilität und entsprechendes Trans-

formationswissen nicht nur Auszubildende und Beschäftigte erreicht, sondern in die Breite der Gesamtbevölkerung aller Altersstufen getragen wird. „Die Sensibilisierung der breiten Masse für Elektromobilität und nachhaltige Mobilität insgesamt ist absolut notwendig. Wir sollten mit dem Thema alle Altersstufen, angefangen beim vorschulischen Bereich, erreichen“ (Exp.).

Die Landesregierung Baden-Württemberg sieht einen wesentlichen Standortfaktor des Autolandes Baden-Württemberg im Aus- und Weiterbildungsangebot. „Die Sicherung der Nachwuchskräfte und die Absicherung des Fachkräftebedarfs sowie die kontinuierliche Weiterbildung der Kompetenzen von Beschäftigten in den neuen Technologiefeldern der Elektromobilität (einschließlich Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie) sind erfolgsentscheidende Faktoren für die weltweite Innovationsführerschaft des Standortes. Bildungsinitiativen sind in der akademischen Ausbildung, dem gewerblichen Bereich, z. B. in den Werkstätten und Servicebetrieben, aber auch im kaufmännischen Umfeld notwendig“ (Landtag von Baden-Württemberg, 2011, S. 2). Eine entsprechende Bildungsinitiative wurde bereits implementiert: Berufliche Weiterbildung im Bereich Elektromobilität wird seit Anfang 2012 vom Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg im Rahmen des Europäischen Sozialfonds gefördert. Mit dem Förderschwerpunkt sollen zusätzliche Anreize geschaffen werden, damit sich Beschäftigte in den Branchen, in denen die Elektromobilität in Zukunft eine Rolle spielen wird, weiterbilden können. Die Förderung beträgt 50 % der Gebühren für Kurse, die sich auf elektrifizierte Antriebsstränge beziehen, wie z. B. Batterietechnologie, Leistungselektronik, Brennstoffzellentechnik, Regelungs- und Steuertechnik, elektrische Fahrzeugantriebe (www.esf-bw.de).

Die Entwicklung langfristiger Perspektiven und Strategien für regionale Arbeitsmärkte und Qualifizierungssysteme könnte ein regionales Arbeitsmarktmanagement leisten (Conrads, 2004). Regionales Arbeitsmarktmanagement ist ein Gestaltungs- und Steuerungsinstrument der Arbeitsmarktentwicklung in einer Region mittels bildungs- und beschäftigungspolitischer Maßnahmen (Annawald, 2005). Mittels eines ressortübergreifenden Vorgehens bündelt und koordiniert ein Netzwerk regionaler Akteure rund um den „Arbeitsmarkt“ die arbeitsmarktbezogenen Betätigungsfelder in einer Region. Ziel ist es, zwischen den Bereichen der Wirtschaftsförderung, Regionalentwicklung, Struktur- und Bildungspolitik zu vermitteln, neue Entwicklungslinien und Zukunftspotenziale frühzeitig zu ermitteln, und damit zu regionalen Anpassungs- und Transformationsprozessen – im Sinne des Struktur- und Technologiewandels – beizutragen.

7. Arbeitsmarkt und demografischer Wandel

Großen Einfluss auf die zukünftige Arbeitswelt in der Automobilindustrie – ob mit oder ohne elektrifizierte Antriebsstränge – wird der demografische Wandel ausüben. Zum einen durch das wachsende Gewicht von Hochschulabsolventen auf dem Arbeitsmarkt und im Beschäftigungssystem („Akademisierung“), zum anderen durch alternde Belegschaften und das insgesamt rückläufige Arbeitskräfteangebot in den nächsten Jahren und Jahrzehnten. Diese wichtigen Determinanten der Arbeitswelt der Zukunft werden im Folgenden diskutiert.

Die Akademisierung der Arbeitswelt ist ein seit langem anhaltender, sich weiter fortsetzender Prozess. Darunter wird das wachsende Gewicht von Hochschulabsolventen auf dem Arbeitsmarkt und im Beschäftigungssystem verstanden. Damit ist nicht nur der steigende Akademikeranteil an Beschäftigten gemeint, sondern auch die wachsende Bedeutung von Hochschulabschlüssen und veränderte Maßstäbe der beteiligten Akteure: „Wenn z. B. Anfang der 1960er Jahre deutlich unter 10 %, 1995 bereits mehr als ein Viertel (27 %) und mittlerweile rund die Hälfte der jungen Frauen und Männer in den entsprechenden Jahrgängen ein Studium aufnehmen, dann verändern sich auch die gesellschaftlichen (und möglicherweise auch die betrieblichen) Maßstäbe für ‚talentiertere‘ Bewerber und für ‚erfolgreiche‘ Bildungskarrieren. Es verändern sich Rekrutierungs- und Auswahlmöglichkeiten der Betriebe, Karrierewege in Betrieben, die Muster betrieblicher Arbeitsteilung usw.“ (Kuda, Strauß, Spöttl, & Kaßbaum, 2012, S. 12). Akademisierung bezeichnet demnach im speziellen auch die Substitution von Facharbeitern durch Akademiker, d. h. also die Rekrutierung von Hochschulabsolventen für Positionen, in denen bislang Absolventen des dualen Systems und der darauf aufbauenden Fort- und Weiterbildungen gearbeitet haben. Vor allem bei begehrten Unternehmen finden Verdrängungsprozesse zugunsten von Fachkräften mit höheren Abschlüssen statt. Damit gehen für Absolventen des dualen Systems Aufstiegsmöglichkeiten verloren. „Es steht zu vermuten, dass diejenigen Bachelorabsolventinnen und -absolventen, die nun die Hochschulen verlassen und sich als ‚Generation Praktikum‘ in den Betrieben aufhalten, sukzessive auch Positionen besetzen werden, die zuvor Meistern und Technikern vorbehalten waren“ (Clement, 2010, S. 43).

Eine Arbeitsmarktbilanz für Deutschland bis 2025 ist Ergebnis einer Projektion des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB). Laut IAB-Studie (Fuchs & Zika, 2010) schrumpft das Erwerbspersonenpotenzial in Deutschland von 2010 bis 2020 um 1,8 Mio. Personen und danach bis 2025 um weitere 1,8 Mio. auf 41,1 Mio. Arbeitskräfte. Wird ausschließlich der demografische Effekt betrachtet, so würde das potenzielle Ar-

beitskräfteangebot in Deutschland bis 2025 um 6,7 Mio. Personen abnehmen. Jedoch wird dieser demografische Effekt durch die Zunahme der Erwerbsbeteiligung von Frauen und Älteren sowie durch Zuwanderung teilweise kompensiert. Es „ist zu erwarten, dass die Frauenerwerbsbeteiligung sowie die Lebensarbeitszeit steigen. Zusammen mit einer durchschnittlichen jährlichen Nettozuwanderung von 100.000 Personen schwächt dies den Rückgang auf etwa 3,5 Mio. ab“ (Fuchs, Söhnlein, & Weber, 2011, S. 1). Unter diesen Annahmen würde das Erwerbspersonenpotenzial bis 2025 Jahr für Jahr um mindestens 200.000 Personen abnehmen.

Auf der Nachfrageseite schwankt der Arbeitskräftebedarf bis 2025 leicht. Insgesamt wird die Erwerbstätigenzahl zwar stagnieren, jedoch in sektoral differenzierter Betrachtung im Verarbeitenden Gewerbe stark zurückgehen, in erster Linie ausgelöst durch weiterhin hohe Produktivitätssteigerungen. Gleichzeitig nimmt die Erwerbstätigenzahl in vielen Dienstleistungsbranchen, insbesondere bei den unternehmensbezogenen Dienstleistungen, zu. „Der Trend zur Dienstleistungsgesellschaft ist allerdings nicht gleichzusetzen mit einer De-Industrialisierung. Die Bruttowertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe wächst auch in Zukunft überdurchschnittlich. Die Rationalisierungsmöglichkeiten der Industrie erlauben überdurchschnittliche Produktivitätssteigerungen, die mit einem geringeren Arbeitskräfteeinsatz einhergehen. Ferner haben Unternehmen in der Vergangenheit produktionsnahe Dienstleistungen ausgegliedert und die dort erzielte Wertschöpfung wird dann nicht mehr dem Verarbeitenden Gewerbe zugerechnet. Voraussetzung für das starke Wachstum der unternehmensnahen Dienstleistungen (auch als ‚moderne Umwegproduktion‘ bezeichnet) ist aber eine leistungsfähige industrielle Basis. Das künftige Verhältnis von Industrie und Dienstleistungen wird weiterhin durch Komplementarität und nicht Substitutionalität gekennzeichnet sein“ (Fuchs & Zika, 2010, S. 6).

Insgesamt zeigt die Arbeitsmarktbilanz des IAB, dass die Unterbeschäftigung bis 2025 stark zurückgeht. Dieser Rückgang setzt jedoch voraus, dass der Arbeitskräftebedarf auch tatsächlich gedeckt werden kann. Zumindest in manchen Regionen könnte es jedoch zu einem Mangel an qualifizierten Fachkräften kommen. „Dies gilt umso mehr, je niedriger die Bereitschaft der Wirtschaft ist, ältere Arbeitnehmer zu beschäftigen. Künftig werden sie das größte Reservoir bilden, aus dem qualifiziertes Personal zu gewinnen wäre. So müssten beispielsweise Geringqualifizierte mittels geeigneter Weiterbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen das mittlere Qualifikationsniveau erreichen oder die Bildungssysteme durchlässiger werden, z. B. durch die Anerkennung von Qualifikationen, die in der Arbeit erworben wurden. Wenn dies nicht gelingt, besteht die Gefahr, dass es langfristig zu einem Fachkräftemangel bei gleichzeitig hoher Unterbeschäftigung kommen könnte“ (Fuchs & Zika, 2010, S. 8). Außerdem kann als

gesichert gelten, dass über den IAB-Projektionszeitraum bis 2025 hinaus mit einer weiter stark schrumpfenden und alternden Bevölkerung gerechnet werden muss.

Die IAB-Projektion des Arbeitskräfteangebots bis zum Jahr 2050 schreibt diese Trends fort: Demnach könnte das Erwerbspersonenpotenzial schon 2030 unter 40 Mio. Personen gesunken sein. „Damit würde das Erwerbspersonenpotenzial (die höchstmögliche Zahl von Erwerbstätigen) unter der Zahl der heute tatsächlich Erwerbstätigen liegen“ (Fuchs, Söhnlein, & Weber, 2011, S. 7). Sollten diese Trends sich bis 2050 fortsetzen, dann geht das Arbeitskräfteangebot im Prognosezeitraum 2008 bis 2050 um insgesamt 12 Mio. Personen zurück. „Eine Abnahme des Arbeitskräfteangebots um ungefähr 12 Mio. Erwerbspersonen zwischen 2008 und 2050 dürfte aufgrund der hohen Sicherheit der demografischen Komponente ein sehr realistisches Szenario darstellen“ (Fuchs, Söhnlein, & Weber, 2011, S. 4). Da diese Projektion bereits eine steigende Erwerbsbeteiligung berücksichtigt, ist kaum mit weiteren Personalreserven zu rechnen.

Wirtschaft und Gesellschaft müssen sich längerfristig auf ein viel geringeres Arbeitskräftepotenzial einstellen. Jedoch führt der Rückgang des Arbeitskräfteangebots „nicht zwangsläufig zu einem Fachkräftemangel im Sinne eines dauerhaften Nachfrageüberschusses gegenüber dem Angebot. Zum einen werden sich langfristig die Kapital- und Gütermärkte und auch die Löhne auf den Rückgang des Arbeitskräfteangebots einstellen. Zum anderen können die Qualifikation des Erwerbspersonenpotenzials und seine Produktivität durch verstärkte Investition in Bildung und Ausbildung erhöht werden. Die hohe Arbeitslosigkeit von gering qualifizierten Arbeitskräften zeigt, dass ein Teil des an sich vorhandenen Potenzials kaum genutzt wird. Insofern tragen Bildungsanstrengungen längerfristig dazu bei, die Konsequenzen des sinkenden Erwerbspersonenpotenzials für die Wirtschaft und den Arbeitsmarkt zu mildern. Viele Maßnahmen, die politisch und wissenschaftlich diskutiert werden, um das Arbeitskräftepotenzial besser auszuschöpfen, sind im Übrigen in ihren Folgen auch gesellschaftlich höchst erwünscht. Die Anerkennung Älterer in der Gesellschaft, die Gleichberechtigung von Frauen und Männern (Vereinbarkeit von Familie und Beruf) und die Integration von Migranten sind hohe Ziele, deren Stellenwert nun aus der Arbeitsmarktperspektive heraus noch zunimmt“ (Fuchs, Söhnlein, & Weber, 2011, S. 7). Bereits heute, aber auch zukünftig immer mehr, ist deshalb in den Unternehmen notwendig, die Arbeitsbedingungen an Erfordernisse der älter werdenden Belegschaften, an Erfordernisse der Vereinbarkeit von Familie und Berufe sowie an Erfordernisse der Chancengleichheit und Integration (Diversity Management) anzupassen.

Eine ähnliche Situation wie im gesamten Bundesgebiet wird für Baden-Württemberg erwartet: Mit einer Arbeitskräftelücke von rund 500.000 Erwerbstätigen bis 2030 rechnet die Prognos AG in einer Studie für das Wirtschaftsministerium Baden-Württem-

berg. Sofern keine Maßnahmen zur Reduzierung dieser Lücke eingeleitet werden, würde dies bedeuten, dass 10 % der benötigten Erwerbstätigen aller Qualifikationsstufen bis 2030 fehlen werden, davon 210.000 Hochschulabsolventen, 230.000 Personen mit beruflichen Bildungsabschlüssen und 60.000 Personen ohne berufliche Bildung. In der Gesamtbetrachtung handelt es sich „um einen Mangel in allen Qualifikationsstufen und somit nicht nur um Fachkräfte- sondern um generellen Arbeitskräftemangel in Baden-Württemberg“ (Prognos, 2009, S. 4). Nach Sektoren differenziert liegt die Erwerbstätigenlücke im Verarbeitenden Gewerbe im Jahr 2030 bei 80.000 Personen, davon die Hälfte Hochschulabsolventen. Eine „Allianz für Fachkräfte“ wurde Ende 2011 vom Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg (MFW) gemeinsam mit Gewerkschaften und Wirtschaftsverbänden ins Leben gerufen. Laut Fachkräfteallianz gibt es bereits 2012 einen akuten Fachkräfteengpass in bestimmten Berufen, z. B. bei Ingenieuren, Informatikern, Technikern, aber auch auf Facharbeiterebene in Elektro- und Metallberufen. Gleichwohl gilt es im Blick zu behalten, dass Fachkräftemangel auch Folge einer ungleichen Verteilung der Teilhabechancen ist. „Ein Beschäftigungs- und Produktionsmodell, das auf Innovationskraft und Fachkräfte setzt, wird die Frage von Bildung und Teilhabechancen gerade bei veränderten globalen Märkten und gravierenden technologischen Umbrüchen, erneut zu einer zentralen Zukunftsfrage machen müssen“ (Hofmann, 2010, S. 41).

Es ist – so ein Fazit, das für die ELAB-Fragestellung gezogen werden kann – also zwar davon auszugehen, dass es in Deutschland und in Baden-Württemberg im Betrachtungszeitraum von ELAB bis 2030 zu einem demografisch bedingten, klaren Rückgang im Arbeitskräfteangebot kommen wird. Hieraus aber im Sinne des Gleichgewichts von Angebot und Nachfrage den Schluss zu ziehen, Produktionsarbeitsplätze hierzulande in Folge des technologischen Wandels einzudampfen, schon allein gesellschaftspolitisch gesehen fatal wäre. Auch für mittlere Qualifikationen und für Einfach Tätigkeiten sollte die Industrie langfristig Arbeitsplätze zur Verfügung stellen, um zur sozialen Kohäsion beizutragen. Und auch im Eigeninteresse von Industrieunternehmen liegt es, die räumliche Nähe zwischen Entwicklung bzw. Innovation und Produktion aufrechtzuerhalten. Ein hervorragender Technologiestandort für Elektromobilität – wie es der Zielsetzung von Baden-Württemberg und Deutschland entspricht – bezieht seine Stärke auch aus Synergien, Rückkoppelungsprozessen und gegenseitigen Lerneffekten mit dem gleichzeitig vorhandenen Produktionsstandort. „Nur wer Erfahrung aus der Produktion auf kurzem Wege in die Entwicklung zurückspiegeln kann, wird ‚best in class‘ werden können“ (Abele & Reinhart, 2011, S. 6). Die Industrialisierung der Elektromobilität sollte demnach weiterhin eine wichtige Zielsetzung für Unternehmen und Politik sein.

8. Resümee und Ausblick

Bei der qualitativen Wirkungsanalyse auf Beschäftigung standen in der ELAB-Studie der Wandel der Kompetenzanforderungen und neue Qualifikationserfordernisse an die in der Antriebsstrangproduktion Beschäftigten im Zentrum. In Stichworten zusammengefasst sind die Kernpunkte des entsprechenden Kapitels „Kompetenzanforderungen und Qualifikationen“ im ELAB-Abschlussbericht:

- Bedeutungszunahme Elektrik/Elektronik („von M/M zu E/E“): Elektrische und elektronische Komponenten und Systeme werden im Automobil immer bedeutender. Ein Treiber der Elektrifizierung ist der Systemwechsel zur Elektromobilität, ein anderer wichtiger Treiber ist die Durchdringung von Infotainment im Automobil. Diese Bedeutungszunahme von E/E schlägt auch auf Produktionstätigkeiten durch. Daraus leitet sich die Notwendigkeit ab, langfristige Bildungsstrategien für die Beschäftigten in den mechanischen Fertigungsbereichen und in der Montage in Richtung E/E-Kompetenzen zu entwickeln.
- Bedeutungszuwachs Montagetätigkeiten („Schwerpunktmäßig formgebende Fertigungsprozesse werden vom Schwerpunkt Montageprozesse sukzessive abgelöst“): Montageprozesse gewinnen beim Elektroantrieb sukzessive an Bedeutung gegenüber formgebenden Fertigungsverfahren wie Zerspanung und Umformung, die beim Verbrennungsmotor stärker im Zentrum standen. Damit verändern sich die Kompetenzanforderungen an die Beschäftigten in der Komponentenproduktion.
- Industrielle Montagearbeit kann nicht auf „Einfacharbeit“ reduziert werden („Montage wird komplexer und anspruchsvoller und ist alles andere als ‚nur‘ einfache Arbeit“): Ein „Qualifikationsshift“ hin zu immer wichtiger werdenden Fach- und Prozesskompetenzen in Verbindung mit steigender Komplexität und Flexibilität ist zu beobachten. Gleichzeitig wird die Bedeutung von Erfahrungswissen in der Montagearbeit immer stärker anerkannt.
- Der Umgang mit Hochvolt-Systemen wird im Zuge der Elektrifizierung des Antriebsstrangs als ein zentrales neues Qualifikationserfordernis für Facharbeiter und weitere Beschäftigte in Produktions- und Montagebereichen angesehen. Für „nach-SoP-Beschäftigte“ in den Produktionsbereichen reicht jedoch vielfach eine „Hochvolt-Sensibilisierung“ als Qualifikationsmaßnahme aus. Für die Beschäftigten ab der Inbetriebnahme des Hochvolt-Systems sowie in Prüfung und Nacharbeit sind weitere Qualifizierungsmaßnahmen im Stufenkonzept nach BGI 8686 notwendig.

- Erweiterte Kompetenzanforderungen in Richtung Genauigkeit, Sorgfalt, Reinraum ergeben sich im Bereich des konventionellen Antriebsstrangs aus der Optimierung von Verbrennungsmotor und Getriebe.
- Neue Werkstoffe und Leichtbauweise werden für den gesamten Automotive-Bereich, also über den reinen Antriebsstrang hinaus, als Themen immer wichtiger, woraus sich ebenfalls neue Kompetenzanforderungen für Facharbeiter und Entwickler ableiten.
- Berufliche Ausbildung im dualen System: Die bestehenden Berufsbilder im gewerblich-technischen Bereich sind offen für die Integration neuer, elektromobilitäts-spezifischer Qualifikationsinhalte und werden somit den neuen Qualifikationsanforderungen gerecht. Neue Module, wie z. B. der Umgang mit Hochvolt-Systemen, können in die bestehenden, flexiblen Berufsbilder integriert werden.
- Wandel im Mix der Ausbildungsberufe („von M/M-Berufen hin zu E/E-Berufen“): Der in der Automobilindustrie bereits seit Jahren zu beobachtende strukturelle Wandel im Berufemix in Richtung mechatronische Berufe und industrielle Elektroberufe wird sich durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs weiter fortsetzen.
- Weiterbildung: Erforderlich sind spezifische Weiterbildungsmaßnahmen, die als arbeitsprozessorientierte Lernkonzepte implementiert werden sollten. Die Standardisierung von Qualifizierungsinhalten und -abschlüssen – insbesondere im stark wachsenden Angebot der Weiterbildung rund um den Umgang mit Hochvolt-Systemen (Sensibilisierung, Elektrofachkraft etc.) – ist eine vordringliche Aufgabe.
- Arbeitsschutz: Die größten Auswirkungen auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz sind durch den Umgang mit den Traktionsbatterien zu erwarten. Mit Gefahren durch elektrische Spannung in Hochvolt-Bereichen und durch zusätzliche Gefahrstoffe (z. B. Lithium) ist insbesondere in den Produktions- und Werkstattbereichen zu rechnen.
- Komponentenspezifische Qualifikationserfordernisse:
 - Traktionsbatterien erfordern im gesamten Produktionsprozess die Sicherstellung hoher, gleichbleibender Qualität. Wesentliche Kompetenzanforderungen beim Produktionsprozess des Batteriesystems (ab Packaging) sind Verbindungs- und Fügetechnik (Arbeiten unter Spannung), Qualitätssicherung, Prüfung und Tests (Elektrik, Dichtigkeit). Eine sehr hohe Automatisierung ist bei künftig höheren Stückzahlen zu erwarten.

- Elektromotoren werden künftig ähnlich hochautomatisiert produziert. Durch die hohe Automatisierung werden für die Beschäftigten im Produktionsprozess v. a. Kompetenzen wie Einrichten, Bedienen, Überwachen und Warten der automatisierten Anlagen sowie Testen, Prüfen und Qualitätssicherung immer wichtiger.
 - Leistungselektronik erfordert in der Produktion zum einen Facharbeiter mit Elektronik- oder Mechatronik-Ausbildung, die z. B. hochautomatisierte Anlagen überwachen und instandhalten oder in Test und Qualitätssicherung eingesetzt werden, zum anderen angelernte Beschäftigte, z. B. in der Bauelemente-Bestückung.
 - Brennstoffzellensysteme erfordern in der Produktion technische Kompetenzen rund um Dünnfilm-Bearbeitung und elektrochemische Beschichtung sowie Kompetenzen in den Bereichen Sorgfalt, Reinheit, Qualitätssicherung. Dazu sind für die Produktion von Wasserstofftanks spezifische Kenntnisse insbesondere im Bereich Leichtbau und Hochdruck erforderlich.
- Berufliche Bildung in der Region: In Automotive-Regionen sind Bildungseinrichtungen vielfach stark auf den klassischen Metall- und Mechanik-Bereich orientiert. Elektromobilitätsspezifische Qualifikationsinhalte (Kompetenzen in Elektrik/Elektronik, Umgang mit Hochvolt-Systemen) sollten stärker in die bestehenden Weiterbildungsangebote integriert werden.
 - Regionales Arbeitsmarktmanagement unter Einbeziehung der relevanten Akteure: Bildung einer Plattform bzw. eines Netzwerks aller Akteure der beruflichen und akademischen Bildung, um abgestimmte Konzepte hinsichtlich zukünftiger Maßnahmen sowie eine koordinierte, transparente Umsetzung zu erreichen. Initiierung eines regionalen Arbeitsmarktmanagements als Gestaltungs- und Steuerungsinstrument für regionale Arbeitsmärkte und Qualifizierungssysteme.
 - Arbeitsmarkt und demografischer Wandel: Der demografische Wandel wird einen großen Einfluss auf die zukünftige Arbeitswelt in der Autoindustrie ausüben (ob mit oder ohne Elektromobilität). Ein stark rückläufiges Erwerbspersonenpotenzial bis 2030 (und darüber hinaus) und der anhaltende Trend zur Akademisierung der Arbeitswelt könnten zu Engpässen am für die Antriebsstrangproduktion relevanten Arbeitsmarkt führen. Als Konsequenz gilt es, das Arbeitskräftepotenzial besser auszuschöpfen und Teilhabechancen für alle zu verbessern (Anpassung der Arbeitsbedingungen an Erfordernisse der älter werdenden Belegschaft, der Vereinbarkeit von Familie und Beruf, der Chancengleichheit und Integration).

Der dargestellte Wandel bei Qualifikationserfordernissen als ein Teil der „neuen Arbeitswelt“ kann, das bestätigen auch die zahlreichen Expertengespräche im Rahmen von ELAB, als gesichert gelten, sofern sich elektrifizierte Antriebsstränge auf dem Automobilmarkt durchsetzen. Welche weiteren qualitativen Wirkungen auf die Arbeitswelt mit Elektromobilität einhergehen, ist dagegen weitgehend offen und soll im Folgenden an den Beispielen „Dequalifizierungsthese“ und „Flexibilisierungsthese“ diskutiert werden.

Die nächsten Jahre werden zeigen, ob es in der Komponentenproduktion in Folge zunehmender Bedeutung von Montageprozessen zu Strukturverschiebungen von Facharbeiter-Tätigkeiten hin zu Angelernten-Tätigkeiten bzw. industrieller Einfacharbeit kommt. Eine solche – möglicherweise plausible – „Dequalifizierungsthese“ könnte durch eine sehr hohe Automatisierung der Komponentenproduktion konterkariert werden – dann werden zwar insgesamt weniger Arbeitskräfte benötigt, die dafür umso besser qualifiziert sind. Steigende Qualifikationsanforderungen könnten auch in der weiteren Prozesskette eine Rolle spielen: Zumindest in der langen Übergangsphase mit verschiedenen Antriebskonzepten wird sich die Komplexität im Pkw-Montagewerk erhöhen. Wenn konventionelle Antriebsstränge im Mix mit elektrifizierten und rein elektrischen Antriebssträngen verbaut werden, kommt es zu „komplizierteren Hochzeiten im Aufbauwerk“, weil die „Umstellung auf einen solchen Mischverbau bei der Pkw-Montage für viele Mitarbeiter schwierig ist“ (Exp.) – Kompetenzanforderungen in der Linie steigen also, was auch hier einer Dequalifizierungsthese widersprechen würde.

Elektromobilität als Treiber für die Flexibilisierung von Arbeit – Anzeichen für einen „Flexibilisierungsdruck durch den industriellen Wandlungsprozess ‚Elektromobilität‘ auf die automobilen Arbeitsorganisation bei Herstellern und Zulieferern“ gehen Soziologen an der Universität Eichstätt nach (Siebenhüter & Meyer, 2011). Seit geraumer Zeit versuchen nach dieser „Flexibilisierungsthese“ sowohl OEM, Zulieferer als auch Engineering-Dienstleister, dem Wettbewerbsdruck in der Automobilbranche mit einer Flexibilisierungsstrategie zu begegnen. Die Vielfalt von Antriebsstrangkzepten und die komplexe Entwicklung und Produktion von Hybrid- und Elektroautos ist mit Unsicherheiten für Hersteller und Zulieferer verbunden. „Aus diesen Unsicherheiten und möglichen Fehlerquellen entsteht für alle an der Entwicklung beteiligten Akteure ein erhöhter Flexibilisierungsdruck, um auf mögliche technologische, gesetzliche oder gesellschaftliche Veränderungen zügig reagieren zu können“ (Siebenhüter & Meyer, 2011, S. 193). Ein wichtiger Faktor aus Sicht der Unternehmen sei hierbei die Erhöhung der externen Flexibilität, also die Möglichkeit, durch Zeitarbeit und Werkverträge die Zahl der Beschäftigten dem Bedarf anzupassen. Demnach hätte der industrielle Wandlungsprozess zur Elektromobilität auch eine Ausweitung der flexiblen Belegschaft, also

der Leiharbeit- und Werkvertragsnehmer, zur Folge. Hingegen spricht die Notwendigkeit, qualifizierte Arbeitskräfte aus den „neuen Kompetenzfeldern“ an das Unternehmen zu binden, gegen eine starke Ausweitung atypischer Beschäftigung. Alles in allem bleibt – so das vorläufige Resümee zu diesen beiden Thesen – zunächst offen, welchen Gehalt sowohl die „Flexibilisierungsthese“ als auch die „Dequalifizierungsthese“ für die Arbeitswelt im „Zeitalter der Elektromobilität“ haben.

Alles in allem ist eine Ablösung konventioneller Antriebe durch elektrifizierte und reinelektrische Antriebsstränge, wie sie in den nächsten Jahrzehnten erwartet wird, für die Automobilindustrie mit einem tiefgreifenden Technologiewandel gleichzusetzen. Mit dem mittel- bis langfristigen Umstieg auf Elektromobilität ist ein deutlicher Wandel in der Arbeitswelt verbunden. Wie gezeigt werden konnte, werden sich Kompetenzanforderungen und Qualifikationen nach und nach verändern. In der Antriebsstrangproduktion werden Elektrik/Elektronik-Qualifikationen immer wichtiger, die Dominanz klassischer Metall- und Mechanik-Qualifikationen erodiert zunehmend. Gleichzeitig gewinnen Montageprozesse im Vergleich zu formgebenden Fertigungsverfahren an Bedeutung. Insgesamt ist ein Wandel bei den Kompetenzanforderungen in der Antriebsstrangproduktion vorgezeichnet, der in Richtung Elektrotechnik, Mechatronik, Informatik, Werkstoffverhalten, Kunststoffbearbeitung, Chemie, Mikrosystemtechnik sowie Prozesssicherheit bei neuen Produktionsprozessen, Messen/Prüfen und Qualitätssicherung geht. Erweiterte Kompetenzanforderungen für Produktionsbeschäftigte resultieren zusätzlich aus der Optimierung des Verbrennungsmotors und aus dem Leichtbau. Der Umgang mit Hochvolt-Systemen wird zunehmend ein wichtiges Qualifikationserfordernis; nach Produktionsbereichen differenziert in erster Linie bei der Batterieproduktion und beim Aufbau von Hybrid- und Elektroautos im Pkw-Montagewerk, bei anderen Komponenten des elektrifizierten Antriebsstrangs erst ab der Inbetriebnahme. Insofern sind alle Beschäftigten in Produktion und Entwicklung von der Umstellung betroffen und brauchen eine vorausschauende Qualifizierung – wenn auch mit verschiedenen Schwerpunkten und in unterschiedlichem Umfang.

Die Lehrpläne in der beruflichen Aus- und Weiterbildung müssen an die besonderen Qualifikationen, die die Elektromobilität erfordert, angepasst werden. Bestehende Angebote sollten stärker in Richtung Kompetenzen in Elektrik/Elektronik erweitert werden. Wichtig sind Transparenz bei Bildungsangeboten und Standardisierung von Qualifizierungsinhalten und -abschlüssen.

Genauso wie Deutschland zum Leitmarkt *und* Leitanbieter für Elektromobilität werden sollte, gilt es den hervorragenden Technologiestandort *und* den Produktionsstandort zu stärken. Eine Schlüsselfrage im Zusammenhang mit dem Technologiewandel zur Elektromobilität ist, welche neuen Komponenten und welche Wertanteile in Zukunft

nicht nur in Deutschland entwickelt, sondern auch hier produziert werden. Eine aktive Industriepolitik ist notwendig, um das weltweit einzigartige Innovationscluster auto-mobiler Produktion weiterzuentwickeln, um die Industrialisierung neuer Technologien und alternativer Komponenten zu ermöglichen und um zukunftsorientierte Arbeitsplätze zu schaffen. Um FuE und Produktion zu stärken, ist akademische Bildung *und* berufliche Bildung erforderlich. Nur mit qualifizierten Fachkräften kann die Industrialisierung der neuen Komponenten des elektrifizierten Antriebsstrangs in Deutschland gelingen – und damit Beschäftigung und Wertschöpfung gesichert werden.

9. Literaturverzeichnis

- Abele, E., & Reinhart, G. (2011). Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München.
- Abele, E., Hohenstein, J., Pfeiffer, P., & von Wihl, E. (2009). Wandel im PKW-Antriebsstrang: Auswirkungen auf Produktionskonzepte. Maschinenbau und Metallbearbeitung, S. 12-16.
- Abele, E., Rumpel, G., Hohenstein, J., & Benning, K.-H. (11 2009). Elektromobilität – Konsequenzen für die Zerspanung. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, S. 993-997.
- Allespach, M., & Ziegler, A. (2012). Zukunft des Industriestandortes Deutschland 2020. Marburg.
- Annawald, M. (2005). Ansätze für Regionales Arbeitsmarktmanagement. Konzeption und Diskussion an ausgewählten Beispielen. Kaiserslautern.
- Audi. (2012). Geschäftsbericht 2011. Ingolstadt.
- Bauer, W., Dispan, J., Friedrich, H., & et al. (2012). Elektromobilität und Beschäftigung. Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung (ELAB). Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung.
- BMBF. (2011). Ausbildungsberufe für die Elektromobilität. Ein dynamisches Innovationsfeld bietet spannende Perspektiven. Bonn.
- Bohr, B. (2011). Systemzulieferer Bosch: Treibende Kraft im Wandel der Automobilindustrie. Referat beim Motorpresse-Kolloquium in Boxberg. Stuttgart.
- Bräunig, K. (2012). Wirtschaftliche Rahmenbedingungen für Elektromobilität. Präsentation beim ACOD-Kongress am 28.02.2012 in Leipzig.
- Bundesanzeiger. (2011). Bekanntmachung Richtlinien zur Förderung von Forschung und Entwicklung "Schaufenster Elektromobilität", vom 13.10.2011. Berlin.
- BzA-BW, & WRS. (2009). Die Brennstoffzelle in der Region Stuttgart. Analyse und Ausbau der Wertschöpfungsketten. Stuttgart.
- Christensen, C., Matzler, K., & von den Eichen, S. F. (2011). The Innovator's Dilemma. Warum etablierte Unternehmen den Wettbewerb um bahnbrechende Innovationen verlieren. München.
- Clement, U. (2010). Produktionssysteme & Facharbeit in der Autoindustrie. In Friedrich-Ebert-Stiftung (Hrsg.), Perspektiven der Erwerbsarbeit: Facharbeit in Deutschland (S. 40-49). Bonn.

- Conrads, R. (2004). Regionales Arbeitsmarktmanagement: Umsetzung, Erfolge und Regelmäßigkeiten. Ein Beitrag zur angewandten sozialgeographischen Implementationsforschung. Augsburg.
- Daimler. (2012). Nachhaltigkeitsbericht 2011. Stuttgart.
- Deutsches Dialog Institut. (2011). Zwischenauswertung der Themenanalyse zu Kontroversen in der Elektromobilität. Berlin.
- DGUV. (2010). BGI/GUB-I 8686. Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltsystemen. Berlin.
- Dispan, J., & Meißner, H.-R. (2011). Elektromobilität: Wirkungen auf regionale Wertschöpfungsketten und auf die Beschäftigung in Baden-Württemberg. (IG Metall Baden-Württemberg, Hrsg.) Stuttgart.
- Dispan, J., Krumm, R., & Seibold, B. (2009). Strukturbericht Region Stuttgart 2009. Entwicklung von Wirtschaft und Beschäftigung. Schwerpunkt: Umbruch in der Automobilregion. Stuttgart.
- EFI. (2012). Gutachten der Expertenkommission Forschung und Innovation. Berlin.
- Ehrke, M., Brötz, C., & Gerdes, F. (2012). Innovationsfähigkeit stärken durch Berufsbildung. In S. Pfeiffer (Hrsg.), *Smarte Innovation* (S. 299-325). Wiesbaden.
- E-mobil-BW, & WRS. (2012). Living Lab BW-e-mobil. Schaufenster Elektromobilität – Wettbewerbsantrag. Stuttgart.
- Enderlein, H., Krause, S., & Spanner-Ulmer, B. (2012). Elektromobilität – Abschätzung arbeitswissenschaftlich relevanter Veränderungen. Dortmund.
- Esch, S. (2011). Strukturwandel in der Automobilindustrie. Die Bedeutung wirtschaftsfördernder Akteure bei der Implementierung neuer Antriebstechnologien. Am Beispiel der Elektromobilität in der Region Stuttgart. Tübingen.
- Feldmann, K. (2009). Montage in der Leistungselektronik für globale Märkte. Design, Konzepte, Strategien. Berlin.
- Fleischer, J. (2011). Produktionstechnische Herausforderungen aus Sicht der Forschung. In *Produktionstechnische Herausforderungen aus Sicht der Elektromobilität* (S. 32-43). Aachen.
- Franke, J. (2011). Prozessentwicklung für die Serienfertigung von elektrischen Fahrtrieben. Präsentation beim 4. E-Motive-Expertenforum am 7./8.09.2011 in Aachen.
- Fraunhofer IAO, IMU Institut, & DLR Institut für Fahrzeugkonzepte. (2012). Elektromobilität und Beschäftigung. Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung. Abschlussbericht. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Fuchs, J., & Zika, G. (2010). Demografie gibt die Richtung vor. Arbeitsmarktbilanz bis 2025. In IAB-Kurzbericht. Nürnberg.

- Fuchs, J., Söhnlein, D., & Weber, B. (2011). Rückgang und Alterung sind nicht mehr aufzuhalten. Projektion des Arbeitskräfteangebots bis 2050 (IAB-Kurzbericht Ausg.). Nürnberg.
- Gröter, H.-P., Lichtermann, J., & Stütze, R. (01 2011). Elektrifizierung auf dem Weg zur Großserie. ATZ-elektronik, S. 8-14.
- Hofmann, J. (2010). Fachkräftebedarf und Demographie. Präsentation bei einer Konferenz der IG Metall im 10.12.2010 in Pforzheim.
- Hörner, B., Holm, R., & Pirner, E. (2009). Ich will einen Beruf! - Qualifizierung für die Montage von morgen. In K. Feldmann (Hrsg.), Montage in der Leistungselektronik für globale Märkte (S. 246-271). Berlin.
- IG Metall. (2010). Das E-Qualifizierungssystem ist am Start. Frankfurt.
- IHK Region Stuttgart. (2010). Besondere Rechtsvorschriften für die Prüfung "Zusatzqualifikation Fachkraft für elektronische Arbeiten an Hochvolt-Systemen in Fahrzeugen" für Auszubildende im Ausbildungsberuf Kfz-Mechatroniker/-in. Stuttgart.
- Ittermann, P., Abel, J., & Dostal, W. (03 2011). Industrielle Einfacharbeit – Stabilität und Perspektiven. Arbeit, S. 157-172.
- Jürgens, U., Loire, P., McKiernan, P., & et al. (2009). Anticipation of Change in the Automotive Industry. Study 1: Good Practices of Anticipation and Management of Change within Companies and Regions. Berlin, Paris, St. Andrews.
- Katenkamp, U. (2011). Die erste Nationale Bildungskonferenz Elektromobilität in Ulm. Eine persönliche Bilanz . Bonn.
- Kinkel, S., Friedewald, M., Hüsing, B., Lay, G., & Lindner, R. (2008). Arbeiten in der Zukunft – Strukturen und Trends der Industriearbeit. Berlin.
- Kleine, O., Kinkel, S., Som, O., Bräunlich, H., & Kräusel, V. (2010). Zukunftsfähige Technologie- und Innovationsstrategien in hoch spezialisierten Industriegebieten. Eine exemplarische Studie am Beispiel der Umformtechnik in der Region Raststatt/Gaggenau. Stuttgart.
- Kohnhäuser, M. (2011). Realisierung einer Kleinserienfertigung von Elektromotoren mit innovativen Fertigungstechnologien für den elektrischen Antrieb des BMW ActiveE. In J. Fleischer, G. Lanza, V. Schulze, & (Hrsg.) (Hrsg.), Produktionstechnische Herausforderungen der Elektromobilität (S. 106-126). Aachen.
- Kuda, E., Strauß, J., Spöttl, G., & Kaßbaum, B. (2012). Akademisierung der Arbeitswelt? Zur Zukunft der beruflichen Bildung. Hamburg.
- Landtag von Baden-Württemberg. (2011). Gewerbliche Ausbildung und Forschung auf dem Gebiet der Elektromobilität. Drucksache 15/936. Stuttgart.
- Lang, C. (2008). Braucht Montage Erfahrung? Einleitende Überlegungen. In W. Adami, & et al (Hrsg.), Montage braucht Erfahrung (S. 4-11). München.

- Litz, M. (2011). Organisation des Elektrobereichs bei ZF. Präsentation bei der Fachtagung Elektromobilität und Arbeitsschutz am 19.05.2011 in Erlangen.
- Malorny, C., & Linder, M. (2012). Electric mobility - transformation of the powertrain value chain and implications for OEMs and suppliers. In FKFS (Hrsg.), 12. Internationales Stuttgarter Symposium Automobil- und Motorentechnik am 13./14.03.2012, Tagungsband (S. 31-50). Stuttgart.
- Meißner, H.-R. (2010). Dringend gesucht: Längerfristige Szenarien für die Autoindustrie. Berlin.
- Möbius, F. (2012). Industrialisation of the electric drivetrain for the BMW ActiveE. In FKFS (Hrsg.), 12. Internationales Stuttgarter Symposium Automobil- und Motorentechnik am 13./14.03.2012, Tagungsband (S. 467-477). Stuttgart.
- Müller, K. (2012). Der Produktionstechnologe - ein smarter Innovationsakteur. In S. e. Pfeiffer (Hrsg.), Smarte Innovation (S. 285-297). Wiesbaden.
- Naunheimer, H. (2011). Innovative Antriebstechnik - was bewegt uns morgen? Präsentation beim Mahr Jubiläums Fachkongress am 22.09.2011 in Göttingen.
- NPE. (2011). Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Berlin.
- NPE-AG 6. (2010). Ausbildung und Qualifizierung. Zwischenbericht der NPE Arbeitsgruppe 6. Berlin.
- Pfeiffer, P. (2011). Elektromobilität: Produktionswandel im Antriebsstrang? Präsentation beim Mahr Jubiläums Fachkongress am 22.09.2011 in Göttingen.
- Pfeiffer, S. (2007). Montage und Erfahrung. Warum Ganzheitliche Produktionssysteme menschliches Arbeitsvermögen brauchen. München.
- Porter, M. (2008). Wettbewerbsstrategien. Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten. Frankfurt: Campus-Verlag.
- Prognos. (2009). Qualifizierungsbedarf 2015 und 2030 in Baden-Württemberg. Basel.
- Schlick, T., Hertel, Guido, Hagemann, Bernhard, Maiser, Eric, & Kramer, Michael. (2011). Zukunftsfeld Elektromobilität. Chancen und Herausforderungen für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau. Frankfurt.
- Schmidt, S., Pack, J., Schaezle, W., & Staudacher, F. (2002). Brennstoffzelle – Herausforderung und Chance für das Handwerk. Aalen.
- Schurer, R. (2011). Batteriemontage und Batteriewechselstationen. Präsentation beim Technologietag 2011 von e-mobil-BW am 7.11.2011 in Stuttgart.
- Seeberg, M. (2011). Systemtechniker Elektromobilität (IHK). Präsentation bei der Nationalen Bildungskonferenz Elektromobilität am 29.06.2011 in Ulm.

- Siebenhüter, S., & Meyer, T. (03 2011). Elektromobilität und Flexibilisierung: Industrielle Wandlungsprozesse am Beispiel der Automobilregion Ingolstadt. Industrielle Beziehungen, S. 190-204.
- Smolik, J. (2011). Qualifizierung zur Elektrofachkraft Fahrzeugtechnik IHK als Grundlage der Aus- und Weiterbildung der Fachkräfte bei der Audi AG. Präsentation bei der Nationalen Bildungskonferenz Elektromobilität am 29.06.2011 in Ulm.
- Spath, D., Rothfuss, F., Herrmann, F., Voigt, S., Brand, M., Fischer, S., et al. (2011). Strukturstudie BWe mobil 2011. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation.
- Stegmüller, D. (2011). Produktionstechnische Herausforderungen für Alternative Antriebe aus Sicht eines Prozessentwicklers. In J. Fleischer, G. Lanza, & V. Schulze (Hrsg.), Produktionstechnische Herausforderungen der Elektromobilität (S. 14-31). Aachen.
- Stumpf, J. (2010). Auswirkungen der Elektromobilität auf die Belegschaft. Herausforderungen für Betriebsrat und Management am Beispiel des Volkswagen Werks Kassel. Präsentation beim Forum Elektromobilität am 4.10.2010 in Wolfsburg.
- Thomas, P. (02 2010). Chance der Zelle. Technicity, S. 40-53.
- Wallentowitz, H., Freialdenhoven, A., & Olschewski, I. (2010). Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges. Wiesbaden.
- Wöstmann, F.-J. (06 2011). Neue Antriebskonzepte und Komponenten für Elektroautos. Werkstattstechnik online, S. 456-457.