



Elektromobilität – Abschätzung arbeitswissenschaftlich relevanter Veränderungen

H. Enderlein, S. Krause, B. Spanner-Ulmer

H. Enderlein
S. Krause
B. Spanner-Ulmer

Elektromobilität – Abschätzung arbeitswissenschaftlich relevanter Veränderungen

Dortmund/Berlin/Dresden 2012

Diese Veröffentlichung ist Bestandteil des Gutachtens „Abschätzung der Auswirkungen arbeitswissenschaftlich relevanter, insbesondere den Arbeits- und Gesundheitsschutz betreffenden Veränderungen in Arbeitsinhalten, -abläufen und -prozessen“ im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren: Dr.-Ing. Heiko Enderlein
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Sabine Krause
Prof. Dr. Dr.-Ing. Birgit Spanner-Ulmer
Technische Universität Chemnitz
Professur Arbeitswissenschaft
Erfenschlager Str. 73, 09125 Chemnitz
www.tu-chemnitz.de/mb/ArbeitsWiss

Redaktion: Dipl.-Ing. M. Sc. Tobias Bleyer
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Projektbegleitung: Dipl.-Ing. M. Sc. Tobias Bleyer
Dr. rer. nat. Armin Windel
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Titelfoto: Uwe Völkner, Fotoagentur FOX, Lindlar/Köln

Umschlaggestaltung: Rainer Klemm
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1 – 25, 44149 Dortmund
Telefon 0231 9071-0
Fax 0231 9071-2454
poststelle@baua.bund.de
www.baua.de

Berlin:
Nöldnerstr. 40 – 42, 10317 Berlin
Telefon 030 51548-0
Fax 030 51548-4170

Dresden:
Fabricestr. 8, 01099 Dresden
Telefon 0351 5639-50
Fax 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzreferat	5
1 Motivation – Ziel des Gutachtens	6
2 Methodisches Vorgehen	7
3 Literaturrecherche	9
3.1 Übersicht relevanter Quellen	10
3.2 Auswertung der Literaturrecherche	14
4 Analyse der Theorie	16
4.1 Technologieänderungen durch die Elektromobilität	16
4.2 Gefahrstoffe im Umgang mit Hochvoltbatterien	19
4.3 Klassifizierung der Auswirkungen auf die menschliche Arbeit	23
4.3.1 Auswirkungsarten	23
4.3.2 Auswirkungsgrad	28
4.4 Szenariodarstellung	33
5 Experteninterviews	36
5.1 Zulieferer	38
5.2 Automobilhersteller	42
5.3 Werkstätten	46
5.4 Verwertung	52
6 Fazit	55
Literaturverzeichnis	59
Abbildungsverzeichnis	66
Tabellenverzeichnis	67
Anhang 1 Interviewleitfaden für die Experteninterviews	68
Anhang 2 Ableitung der Städte mit Elektrofahrzeug-Erfahrungen	76
Anhang 3 Verteilung der Experten-Antworten im Bereich Werkstatt/Service	77

Elektromobilität – Abschätzung arbeitswissenschaftlich relevanter Veränderungen

Kurzreferat

Der Begriff der Elektromobilität bezeichnet die Verwendung von elektrischen Antrieben für den Personen- oder Güterverkehr, worunter reine Elektrofahrzeuge, Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung und sogenannte Plug-in-Hybridfahrzeuge mit am Stromnetz aufladbarer Batterie verstanden werden. Durch den von der Bundesregierung verabschiedeten „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“, der zum Ziel hat, Deutschland vor allem durch Zulassung von mindestens einer Million Elektrofahrzeugen zum Leitmarkt für Elektromobilität zu machen, hat das Thema an Bedeutung gewonnen. Die aktuellen Schwerpunkte wissenschaftlicher als auch betrieblicher Aktivitäten zeigen deutlich, dass die technischen Eigenschaften von Elektrofahrzeugen und die Schaffung infrastruktureller Voraussetzungen im Fokus stehen. Inwieweit sich die Veränderungen der Antriebstechnologie auf die menschliche Arbeit auswirken, ist mit Ausnahme einzelner Studien empirisch bisher wenig erforscht. In drei Szenarien, die die Entwicklung der Elektromobilität wiedergeben (pessimistisch, neutral, optimistisch) werden die Auswirkungen auf vier exemplarisch ausgewählte Bereiche des Produktlebenszyklus untersucht und anhand einer umfangreichen Literaturrecherche sowie Expertenbefragungen bei Zulieferern, Herstellern, Werkstätten und Verwertern bewertet.

Das Gutachten kommt zu dem Schluss, dass insbesondere der Umgang mit leistungsstarken Energiespeichern auf Lithium-Basis, d. h. deren Fertigung, Einbau, Lagerung, Entsorgung sowie bestimmte Betriebszustände, Auswirkungen auf den Arbeitsschutz haben können. Diese sind nach bisherigen Erkenntnissen und auch bei bisher angestrebten Zulassungszahlen von Elektromobilen jedoch als gering einzuschätzen. Für weitere Komponenten und den gesamten Produktlebenszyklus besteht außer einem Mehraufwand an Qualifikation lang- bis mittelfristig kein außergewöhnlicher oder spezifischer Handlungsbedarf für den Arbeitsschutz. Die Herausforderungen bestehen vor allem in der Anpassung und konsequenten Umsetzung bestehender Sicherheitsanforderungen für die Produktions- und Werkstattbereiche, die insbesondere mit Gefahren durch höhere Spannungen und zusätzliche Gefahrstoffe (z. B. Lithium) rechnen müssen.

Schlagwörter:

Elektromobilität, Elektrofahrzeug, Arbeitsschutz, Arbeitssystemgestaltung, Gefährdungsbeurteilung, Akkumulatoren

1 Motivation – Ziel des Gutachtens

Elektrofahrzeuge gibt es in verschiedenen Ausführungen bereits seit ca. 100 Jahren. Allerdings ist aufgrund der aktuellen, internationalen Aktivitäten erstmals mit einer größeren Marktdurchdringung rein elektrischer Antriebe zu rechnen. Rund zweitausend Elektrofahrzeuge sind derzeit in Deutschland zugelassen, der größte Teil davon wird von Firmenflotten mit eigenen Ladesäulen betrieben (KNAUER, 2011). Die aktuellen Schwerpunkte wissenschaftlicher als auch betrieblicher Aktivitäten zur Elektromobilität zeigen deutlich, dass die technischen Eigenschaften von Elektrofahrzeugen und die Schaffung infrastruktureller Voraussetzungen im Fokus stehen. Inwieweit sich die technologischen Veränderungen auf die menschliche Arbeit auswirken, ist mit Ausnahme einzelner Studien empirisch bisher wenig erforscht.

Zeitgemäßer (effektiver) betrieblicher Arbeitsschutz baut auf Produktsicherheit auf und schließt die Gestaltung der Arbeitsplätze in das Gestaltungskonzept ein. In der Praxis besitzen der Arbeitsschutz und die Arbeitssicherheit derzeit einen hohen Stellenwert und doch werden sie in der Prozessplanung erst sehr spät in die Betrachtungen mit einbezogen. Durch den vermehrten Einsatz von Hochvolttechnik werden die Mitarbeiter und die Nutzer, rund um das Elektrofahrzeug, von Anfang an größeren Gefahren ausgesetzt sein. Die Mengen eingesetzter Gefahrstoffe im Speichersystem nehmen deutlich zu, wobei sich gleichzeitig das Handling der größeren und schwereren Batterien problematischer gestaltet. Ein steigendes Risiko von Beschädigungen am Speichersystem ist realistisch, was chemische Reaktionen der eingesetzten Stoffe mit entsprechenden Verletzungen zur Folge haben kann. Die manuelle Lastenhandhabung gewichtsintensiver Bauteile ist aus arbeitswissenschaftlicher Sicht ebenso problematisch, da sich die physischen Belastungen auf das Muskel-Skelettsystem auswirken. Ziel ist es, bereits in der Entwicklungsphase ein hinreichendes Maß an Produkt- und Gebrauchssicherheit zu erreichen. Dazu ist eine Sensibilisierung für Probleme bei der zielgerichteten Gestaltung menschlicher Arbeit erforderlich.

Zur Untersuchung der Auswirkungen der Elektromobilität wurde die Technische Universität Chemnitz/Professur Arbeitswissenschaft von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) mit der Anfertigung eines Gutachtens aus arbeitswissenschaftlicher Sicht beauftragt. In diesem Gutachten wird eine auf theoretischen und betrieblichen Untersuchungen basierende Stellungnahme formuliert, die eine Abschätzung der Auswirkungen arbeitswissenschaftlich relevanten, insbesondere den Arbeits- und Gesundheitsschutz betreffenden Veränderungen durch die Elektromobilität ermöglicht.

Mit Hilfe dieses Gutachtens lassen sich präventiv physische und psychische Belastungen erkennen und frühzeitig arbeitswissenschaftliche Gestaltungsmaßnahmen ableiten. Die Untersuchungen schaffen nicht nur Wissen um die Sicherheit am Produkt, sondern auch Erkenntnisse über den Qualifizierungsbedarf der Mitarbeiter in den einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus. Es ist bekannt, dass unzureichende Qualifikation zu psychischen Belastungen führen kann. Ausgangspunkt sind daher die technischen Änderungen, die ein umfangreiches Fachwissen erforderlich machen.

2 Methodisches Vorgehen

Literaturrecherche

Durch eine Auswertung von Publikationen, welche insgesamt die öffentliche Diskussion zur Elektromobilität widerspiegeln, können Rückschlüsse auf den Umfang und das Tempo der Technologieeinführung gezogen werden. So sind entsprechende Verbrauchermeinungen und Expertenschätzungen zur Kaufbereitschaft, steigender Nachfrage, prognostiziertem Marktvolumen, zur nachhaltigen Implementierung der Technologie und über potenzielle Nachfolger geeignete Indizien für den wahrscheinlichen Umfang und die Dauer des Veränderungsprozesses auf dem Weg zur Weiterverbreitung der Elektromobilität. In diesem Zusammenhang sind auch die politischen Signale und Zielsetzungen der großen Industrienationen zu betrachten, weil sowohl finanzielle Anreize oder Gesetzesänderungen, als auch bildungspolitische Maßnahmen Auswirkungen auf den Umfang und das Tempo der Technologieeinführung erwarten lassen.

Experteninterviews

Zur Bewertung der möglichen arbeitswissenschaftlich relevanten, insbesondere den Arbeits- und Gesundheitsschutz betreffenden Auswirkungen reicht eine rein theoretische Betrachtung in Verbindung mit Prognosen nicht aus.

Die Auswahl der Untersuchungsbereiche erfolgte partizipativ mit der Auftraggeberin und betrieblichen Experten. Da eine breite und tiefe Feldanalyse zur Gutachtererstellung nicht vorgesehen war, wird die Aussagekraft der gutachterlichen Bewertung entscheidend von der Repräsentativität der ausgewählten Arbeitsstellen beeinflusst. Als Kriterien können bspw. die für die Unternehmensgruppe oder den Bereich typischen Kernaufgaben angesehen werden. Arbeits- oder Unternehmensbereiche die überwiegend Tätigkeiten mit Kontakt zu typischen Komponenten der Elektromobilitätstechnologie ausführen, sind entsprechend gut geeignet. Die Repräsentativität ganzer Unternehmen ergibt sich aus den einschlägigen Erfahrungen. Die Betrachtung der Zulieferindustrie soll auf die Herstellung und Lieferung von Komponenten des Energiespeichersystems beschränkt werden. Die Validität der Untersuchungen wird durch eine einheitliche Durchführung gewährleistet, indem Analyse- und Bewertungsaspekte mit standardisierten Items arbeitswissenschaftlichen Schwerpunktthemen auswirkungsbezogen zugeordnet werden. Dazu werden folgende Rahmenbedingungen definiert:

- Die Ausprägung (Auswirkungsgrad) wird durch Wissenschaftler und betriebliche Experten der Bereiche bestimmt.
- Die Bewertung basiert größtenteils auf Schätzungen.
- Die Datenerhebung in Form der Experteninterviews wird als offene, semistrukturierte und problemzentrierte Interviewfolge durchgeführt, um eine differenzierte Beschreibung individueller Meinungen und Eindrücke abzubilden und daraus relevante Beurteilungskriterien für den fraglichen Sachverhalt sowie intervenieren-

de Folgemaßnahmen abzuleiten. Die Ausführungen der Experten müssen möglichst unbeeinflusst von etwaigen Vorurteilen des Interviewers bleiben.

Vorteil der methodischen Vorgehensweise ist neben der Objektivierung der gutachterlichen Bewertung die Möglichkeit, aufgrund der hohen Reliabilität eine Wiederholung der Bewertung in risikoreichen Bereichen zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführen und durch einen Vergleich entsprechende Prognosen zu präzisieren.

3 Literaturrecherche

Bei der Elektromobilität handelt es sich nicht um die Weiterentwicklung des Automobils zum Elektrofahrzeug, sondern vielmehr um einen grundlegenden Systemwechsel, bei dem Technologien und Anwendungen auf innovative Weise sinnvoll miteinander kombiniert werden. Es stellt sich jedoch die Frage, wann dieser Technologiesprung in einem bedeutsamen Umfang vollzogen wird.

Zunächst wurde auf der Suche nach Antworten themenbezogenen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen recherchiert. Hauptaugenmerk lag auf nationalen und internationalen empirischen Studien, welche belastungsrelevante Aspekte der menschlichen Arbeit in Korrelation zur Dimension der technischen Änderungen stellen. Weiterhin waren Publikationen hilfreich, welche die Verbreitung und Akzeptanz von Ausbildungsprogrammen, bspw. zur Aus- und Weiterbildung von Mechatronikern, beschreiben.

Ein weiterer möglicher Ansatz zur Steigerung des Erkenntnisgewinns ist der Vergleich mit ähnlichen Erneuerungs- bzw. Entwicklungsprozessen. Hierbei sollen nicht nur adäquate technische, sondern auch organisatorische und soziale Innovationen betrachtet werden. Beispiele dafür sind die Einführung der Leichtbautechnologie im Automobilbau und die Einführung individueller Produktionssysteme (organisatorische Innovation). In Anlehnung an Erkenntnisse der Innovationsforschung (ZAHN et al., 1995) sind die mit Innovationen verbundenen Veränderungsprozesse nach bestimmenden Merkmalen gleichermaßen bewertbar. Ein wichtiger Aspekt in diesem Zusammenhang ist die Annahme, dass tiefgreifende Veränderungen in betrieblichen Strukturen zu Demotivation oder psychischen Erkrankungen führen können, wenn bspw. die Fähigkeiten zur Bewältigung gesteigerter Lernanforderungen nicht ausreichen. Veränderungsprozesse können zudem mit erheblichen Rationalisierungsmaßnahmen und gesetzesrelevanten Veränderungen verbunden sein, was in eine vergleichende Betrachtung ebenso einzubeziehen ist.






















Die systematische Literaturlanalyse bietet einen guten Überblick über den Forschungs- und Entwicklungsstand zur Elektromobilität. Mit Hilfe einer strukturierten Übersicht lassen sich die theoretischen Positionen gut darstellen und als Grundlage für dieses Gutachten verwenden. Zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens lag nur vereinzelt Fachliteratur vor. Allerdings waren vielseitige Studien, Artikel und Online-Dokumente verfügbar. Um die aufgefundenen Quellen nicht nur thematisch zu strukturieren, sondern auch die Herkunft zu kennzeichnen, wurden für die verschiedenen Quellenarten folgende Symbole definiert:







































3.1 Übersicht relevanter Quellen

























In Tab. 3.1 werden die relevanten Quellen für die Themenbereiche der Elektromobilität zusammenfassend dargestellt. Diese Quellen bilden die Grundlage für die theoretische Auseinandersetzung mit der Elektromobilität im Kapitel 4 und für die Abschätzung des Auswirkungsgrades auf die sicherheitsrelevanten und ergonomischen Fragestellungen der menschlichen Arbeit.







Tab. 3.1 Relevante Quellen zur Elektromobilität

Thema	Kurz-Information	Quelle	Art
Staatliche Anreize	- BMBF investiert 35 Millionen Euro in zwei Batterieverbünde	(ACATECH, 2010), (BUNDESREGIERUNG, 2011)	
	- Marktanreize und Forschungsförderung sind aufeinander abzustimmen	(ACATECH, 2010)	
	- Förderprogramme der Bundesregierung	(MANFRED MUSTER CONSULTING (MMC), 2010)	
	- Kaufanreize sind nicht in jedem Fall sinnvoll	(PRICEWATERHOUSECOOPERS, FRAUNHOFER IAO, 2010)	
	- subventionierte Markteinführung von Elektrofahrzeugen derzeit wenig sinnvoll - VDMA fordert mehr Forschungsförderung	(VETTER, 2010)	
	- Autohersteller fordern Elektrofahrzeug-Förderung	(OXMO, 2010)	
	- Kfz-Steuerbefreiung bis 2015	(OXMO, 2011)	
	- staatliche Förderung soll die Akkutechnologie weiterentwickeln und deren Kapazität erhöhen	(OXMO, 2011)	
Ladeinfrastruktur und Energieversorgung	- ressourceneffiziente Verkehrsgestaltung	(LEMMER et al., 2011)	
	- Ladekonzepte	(PRICEWATERHOUSECOOPERS, FRAUNHOFER IAO, 2010)	
	- Nischenprodukt für Räume in denen lokale Emissionen vermieden werden müssen	(FORSCHUNGSSTELLE FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT, 2003)	
	- Energieforschungsprogramm	(VDE, 2010)	
	- Stromtankstellen für Elektrofahrzeuge von verschiedenen Mobilitätsanbietern Einigung der Automobilhersteller und die europäischen Energieversorger auf einen einheitlichen Ladestandard	(MANFRED MUSTER CONSULTING (MMC), 2010)	
	- Für eine Million Elektrofahrzeuge sind keine großen Erweiterungen und Anpassungen am Energienetz in Deutschland vorzunehmen	(VDE, 2010a)	
	- Energieeffizienz und Smart Grid größte Standortchance für Deutschland	(VDE, 2011)	
	- Kopplung aller Elektrofahrzeuge mit erneuerbaren Energien ist nicht zwingend notwendig	(HELMERS, 2010)	
	- Tankstellen mit Starkstrom sind überfällig	(CAR, 2011)	
	- Infrastrukturstrategie - Rollout	(TENDERICH et al., 2008)	
	- Ladeinfrastruktur und Netzintegration	(BMBF - NPE - AG3, 2010)	
	- bis zu 40 Mio. Pkw in Deutschland würden die Elektrizitätsnachfrage um ca. 20 Prozent steigern	(INSTITUT FÜR TECHNIKFOLGEABSCHÄTZUNG UND SYSTEMANALYSE, 2010)	
	- mittlerweile 935 Ladestationen in Deutschland	(PORTAL-21, 2010)	

Thema	Kurz-Information	Quelle	Art
Antriebs- und Speicher-technologie	- Elektrische Antriebe für Fahrzeuge des öffentlichen Nahverkehrs	(SKUDELNY, 1998)	
	- Elektrofahrzeuge: Technik, Strukturen, Entwicklungen	(NAUNIN, 2007)	
	- Batterie-Handbuch	(LINDEN, 2008)	
	- Lithium-Ionen-Akkumulatoren	(YOSHIDO, 2009)	
	- Automobilelektronik	(REIF, 2009)	
	- Batteriestoffe zum schnellen Laden und Entladen (Kang & Ceder, 2009)	(KANG et al., 2009)	
	- Elektrische Antriebe in der Fahrzeugtechnik	(BABIEL, 2009)	
	- Praxis der elektrischen Antriebe	(SCHÄFER, 2009)	
	- Untersuchung und Optimierung elektrischer Antriebe	(FORSCHUNGSSTELLE FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT, 2010)	
	- Vergleich Teilezahl und Produktionsveränderungen	(MANFRED MUSTER CONSULTING (MMC), 2010)	
	- Batterien für Elektrofahrzeuge	(BOSTON CONSULTING GROUP, 2010)	
	- Ausblick Antriebsentwicklung, Aufbau Lithium-Ionen-Akkus	(MANFRED MUSTER CONSULTING (MMC), 2010)	
	- Kabelhersteller macht (Elektro)mobil	(SPINNARKE, 2011)	
	- Lithium-Ionen-Batterien und Sicherheit	(KITOH et al., 1999)	
	- Technologiefolgenabschätzung	(FLEISCHER et al., 2010)	
	- Autohersteller zurren Strategie zur E-Mobilität fest	(KNÜPFER, 2010)	
	- E-Mobilität erfordert neue Produktionstechnologien	(POLL, 2011)	
	- Simulationssoftware für Akku-Technologien – den Entwicklungsprozess beschleunigen	(WIDMANN, 2011)	
	- Entsorgung der Hochleistungsbatterien von Elektrofahrzeuge unterhalb der Kosten für das Recycling	(GAINES et al., 2000)	
	- Elektrische Antriebe und Speichertechnologien	(VDE, 2010a)	
	- Batterieforschung als Schlüssel	(BMBF, 2010)	
	- Elektrifizierung des Antriebsstranges sowie der Einsatz neuer Materialien im Fahrzeugbau werden die Produktionsprozesse nachhaltig beeinflussen	(VDA, 2011)	
	- Fakten zu Verfügbarkeit und Recyclefähigkeit von Lithium	(WOLKIN, 2009)	
- Reichweiten erhöhen mit Lithium-Luft-Batterie erst eine Option für die Zeit nach 2025	(WELT ONLINE, 2011)		
- Errichtung einer Pilot-Produktionsanlage für Lithium-Ionen-Batterien in Ulm	(BMBF, 2011)		

Thema	Kurz-Information	Quelle	Art
Nutzerakzeptanz	<ul style="list-style-type: none"> - Grüne Wege aus der Autokrise - Was denkt der Verbraucher? - Kaufbereitschaft/allgemeines Interesse - Geschäftsmodelle mit genügend Überzeugungskraft für größere Bevölkerungsteile - Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen - Sechs Erfolgsfaktoren der Elektromobilität - Elektromobilität emotionalisieren und gezielt vermarkten - Marktdurchdringung - Elektroautos in Deutschland gefragt - insbesondere junge Fahrer 	<p>(CANZLER et al., 2009) (VDE, 2010) (TÜV RHEINLAND, 2010) (PRICEWATERHOUSECOOPERS, FRAUNHOFER IAO, 2010)</p> <p>(BIERE et al., 2009) (NEUHÄUSER et al., 2009) (ESCH et al., 2011)</p> <p>(LAHL, 2010) (CARLSON FUND, 2010)</p>	        
Technologieeinführung ähnlicher Innovationen	<ul style="list-style-type: none"> - Akzeptanz und Nichtakzeptanz von technischen Produktinnovationen - Verlauf und Einfluss der Einführung von Computern - Toyota Production System (TPS) seit 1945 hat Taiichi Ohno das TPS sukzessiv in der Produktion eingeführt - seit 1970 wird es von anderen kopiert - Verlauf und Auswirkungen von Einführung des Mobilfunks 	<p>(DETHLOFF, 2004)</p> <p>(DAVIS, 1993), (EDWARDS, 1994)</p> <p>(SACKMANN, 2005)</p> <p>(TELECOM, 1999), (MÄKITALO, 2006), (MALLENIUS et al., 2007), (BILJON et al., 2008),</p>	   
Internationale Elektromobilität	<ul style="list-style-type: none"> - Förderprogramme international - Untersuchung zu Marktfähigkeit von Elektromobilität in Dänemark - Förderprogramme international, S. 5 - Internationale Pilotprojekte in Zusammenarbeit mit Better Place 	<p>(VETTER, 2010) (ESKEBÆK et al., 2009)</p> <p>(BMBF - NPE - AG2, 2010) (BETTER PLACE, 2010), (BETTER PLACE, 2010a), (BETTER PLACE, 2011)</p>	   
Öffentliche Diskussion	<ul style="list-style-type: none"> - gewisser Mobilitätswandel denkbar, wenn staatliche Förderung nicht nur auf der Ebene der Forschung, sondern auch auf der Ebene der Verbraucher - Standardisierung darf weder zu früh noch zu spät geschehen - steigender Grad der Elektrifizierung in der Automobilindustrie - zum Massenmarkt ist es allerdings noch ein weiter Weg - Erwartungen an die alternativen Autoantriebe, wie Hybrid- oder batteriebetriebene Elektrofahrzeuge sind zu hoch gesteckt - Expertenmeinungen zu diversen Teilgebieten - Bis 2025 werden elektrische und Hybridfahrzeuge einen weltweiten Marktanteil von rund 40 Prozent der Neuzulassungen erreichen - Dokumentarfilm zur Entwicklung der Elektromobilität Anfang der 1990er bis Mitte der 2000er Jahre 	<p>(HELMERS, 2010)</p> <p>(ACATECH, 2010a), (Fachverband für Elektromobilität (FVEM), 2010), (POLL, 2011)</p> <p>(HEYMANN, 2010)</p> <p>(J.D. POWER AND ASSOCIATES, 2010)</p> <p>(PRICEWATERHOUSECOOPERS, FRAUNHOFER IAO, 2010) (BERGER; VDMA, 2011)</p> <p>(PAINE, 2006)</p>	      

Thema	Kurz-Information	Quelle	Art
Aus- und Weiterbildung	<ul style="list-style-type: none"> - Gründung eines Forschungs- und Studienzentrums für Leistungselektronik (BaWü) - Wissen durch Weiterbildungsmaßnahmen und Zusatzausbildungen - Werkstätten unterschätzen die Gefahren - Eventuelle Problematiken der EE-Branche - Verschiebung des Kompetenzprofils der automobilen Antriebsindustrie - Händler trainieren Umgang mit Hochvolt-technik - Mobilität aus Sicht der Kfz-Händler und -werkstätten - Ausbildung und Qualifizierung - die meisten Hersteller sind in der Lage, ihre Mitarbeiter professionell für den Umgang mit HV-Fahrzeugen im Allgemeinen und modellspezifisch zu schulen - drei neue Funktionen bei Daimler: die Verantwortliche Elektrofachkraft (VEFK), die Elektrofachkraft mit Fachverantwortung (EFKmF) und die Fachkraft für Hochvolt-Systeme in Kraftfahrzeugen (FfHV) - Mit Bildung ins Zeitalter der E-Mobilität - Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltsystemen - neuer Bachelorstudiengang Elektrotechnik - Elektromobilität 	<p>(ACATECH, 2010a)</p> <p>(ACATECH, 2010a)</p> <p>(TÜV SÜD, 2010) (BMU, 2011)</p> <p>(MCKINSEY & COMPANY, 2011)</p> <p>(KARPSTEIN, 2011)</p> <p>(CREUTZIG, 2010)</p> <p>(BMBF - NPE - AG6, 2010) (FALK, 2010)</p> <p>(DAIMLER, 2011)</p> <p>(IG METALL, 2011) BGI/GUV-I 8686</p> <p>(HOCHSCHULE MÜNCHEN, 2011)</p>	           
Arbeitssicherheit und Arbeitsschutz	<ul style="list-style-type: none"> - Werkstoffe und Gefahren von Lithium-Ionen-Batterien - Übertragung der Anforderungen für Industrie- und Anlagenanwendungen schwierig - Gefahrenpotenzial durch Lithium-Ionen-Batterien - Gesetzliche Vorschriften - Normung, Standardisierung und Zertifizierung - Zukunft Elektrofahrzeug – Arbeitsschutz ist gefragt - Organisation qualifizierter Elektrofachkräfte im Bereich Hochvolt-Systeme in Kraftfahrzeugen - Stromunfälle – Sicherheitsrisiko Spannung - Arbeitsschutz beim Umgang mit Elektrofahrzeugen - Unfallverhütungsvorschrift "Elektrische Anlagen und Betriebsmittel" - Betrieb von elektrischen Anlagen - Anforderungen an die im Bereich der Elektrotechnik tätigen Personen - Elektromagnetische Felder 	<p>(NAZRI et al., 2009)</p> <p>(JACOBS et al., 2009)</p> <p>(HRACH et al., 2011); (ULLRICH, 2010); (BABIEL, 2009)</p> <p>(SAGAWA, 2010)</p> <p>(BMBF - NPE - AG4, 2010)</p> <p>(THIERBACH, 2010)</p> <p>(DAIMLER, 2011)</p> <p>(UNFALLKASSE POST UND TELEKOM, 2008)</p> <p>(FORUM VERLAG HECKERT, 2011)</p> <p>BGI/GUV A3</p> <p>DIN VDE 0105-100</p> <p>DIN VDE 1000-10</p> <p>BGI/GUV-I 5111-2</p>	           

Thema	Kurz-Information	Quelle	Art
Arbeitsphysiologische und -psychologische Stressforschung	- Belastung und Beanspruchung in Organisationen	(GEBERT, 1981)	
	- Belastung und Beanspruchung – Stress, Ermüdung und Burnout im Arbeitsleben	(RICHTER et al., 1998)	
	- Theories of organizational stress	(COOPER, 2000)	
	- Stressbewältigung	(KALUZA, 2005)	
	- Arbeitsstress für Beschäftigte in Berufen, die durch Belastungen geprägt sind	(DRAGANO, 2007)	
	- Technikstressmodell – im Umgang mit viel Technik	(HOPPE, 2009)	

3.2 Auswertung der Literaturrecherche

Ausgehend von den eher allgemeinen Informationen zur Elektromobilität kann festgestellt werden, dass in den letzten Jahren die Relevanz des Themas und der Umfang der Berichterstattung stark zugenommen haben. Insbesondere über Herausforderungen, Chancen und Hürden bei der flächendeckenden Verbreitung der Elektromobilität wurde und wird viel berichtet. Es kristallisiert sich heraus, dass Deutschland, im Vergleich zu anderen Nationen, für die Elektromobilität der Zukunft noch nicht endgültig bereit ist. Die meisten Autoren sind sich allerdings einig, dass die Mobilität der Zukunft auf elektrischen Antrieben basieren wird. Die Frage wie schnell die Umstellung erfolgen wird, konnten die vorliegenden Quellen nicht beantworten. Sie bilden jedoch umfassend die aktuellen Themen, Diskussionen und Aktivitäten rund um die Elektromobilität ab.

Tab. 3.2 Auswertung der Literaturrecherche

Thema	Schlussfolgerungen
Staatliche Anreize	Derzeit spricht die Bundesregierung von Steuervergünstigungen für gewerbliche Nutzer von Elektrofahrzeugen. Eine Prämie, ähnlich der Abwrackprämie, ist bisher noch nicht vorgesehen. Der Grund liegt darin, dass derzeit eine solche Prämie nicht den deutschen Autobauern zugutekommt, sondern den ausländischen Elektrofahrzeugherstellern. Sobald anteilig ausreichend deutsche Elektroautos zugänglich sind, wird der Bund eine solche Prämie erneut überdenken müssen. Deutschland konzentriert sich im Gegensatz dazu auf die Förderung des technologischen Know-hows sowie auf die Förderung branchenübergreifender Kooperationen.
Ladeinfrastruktur und Energieversorgung	Studien belegen, dass es nach den aktuellen Erkenntnissen keinen Engpass bei der Energiebereitstellung geben wird. Elektrofahrzeuge sind ökologisch und ökonomisch besonders sinnvoll, wenn der notwendige Strom aus erneuerbaren Energiequellen stammt. Deshalb werden parallel Konzepte verschiedener Einrichtungen zur Erweiterung der Gewinnung erneuerbarer Energien, Untersuchungen zur Energieeffizienz, zu Energiespeichertechnologien und zur Netztechnik erarbeitet. Die Ladestrategie muss allerdings in all ihren Varianten in den nächsten Jahren noch reifen, so dass die Nutzer immer eine Chance haben ihr Elektroauto rechtzeitig laden zu können.
Antriebs- und Speichertechnologie	Es ist erkennbar, dass die Entwicklung reichweitenstarker und preisgünstiger Batterien der Schlüssel zur Elektromobilität ist. Durch künftige Entwicklungen in der Batterietechnologie sowie durch die Serienfertigung von Elektroautos werden sich die Preise deutlich reduzieren lassen. Ein weiterer Punkt ist die Reichweite des Elektroautos, die derzeit im Schnitt auf weniger als 200 Kilometer beschränkt ist. Der Trend zeigt, dass nach 2025 Technologien zur Verfügung stehen können, z. B. Lithium-Luft-Akkus, die vergleichbare Reichweiten wie Verbrennungsmotoren ermöglichen.

Thema	Schlussfolgerungen
Nutzerakzeptanz	Aus den Literaturquellen geht hervor, dass nicht mit einer Bereitschaft der Nutzer zu rechnen ist, aus Umweltgründen einen höheren Preis für Elektrofahrzeuge zu zahlen. Es werden Lücken identifiziert, die sich heute noch zwischen den Erwartungen der Nutzer und den technologischen Möglichkeiten befinden.
Technologieeinführung ähnlicher Innovationen	Im Gegensatz zur Einführung des Personal-Computers oder der Mobiltelefone, von deren zusätzlichen Nutzen der Käufer jahrelang überzeugt werden musste, ist bei der Umstellung auf Elektromobilität der Nutzen von Anfang an klar. Die Kompromisse sind für den Nutzer jedoch bisher nicht akzeptabel. Trotzdem kann ein Vergleich dieser Entwicklungen einen Eindruck der Einführungsgeschwindigkeit vermitteln.
Internationale Elektromobilität	International gibt es verschiedene Konzepte für die Umstellung auf Elektromobilität. Einige davon sind sehr vielversprechend, da sich die Akzeptanz der Elektrofahrzeuge für den urbanen Bereich immer weiter verbessert. Den aufgeführten Quellen kann entnommen werden, dass dies hauptsächlich durch Kaufprämien erreicht wird.
Öffentliche Diskussion	Die öffentliche Diskussion zur Elektromobilität in den Medien der letzten Jahre zeigt, dass es wie bei allen Innovationsthemen Befürworter und Kritiker gibt. In Summe ist zu sagen, dass die Befürworter große Hoffnung vermitteln, dass durch die Elektromobilität die Umweltbedingungen nachhaltig verbessert werden können. Die Mehrheit ist der Meinung, dass die Elektrifizierung in den nächsten Jahren kontinuierlich anwächst. Ob es zu einem Massenmarkt für Elektroautos kommt, ist indes noch ungewiss. Nach Aussage vieler Experten werden die Verbrennungsmotoren weiterhin langfristig eine Hauptrolle in der Mobilität spielen.
Aus- und Weiterbildung	Im Fokus stehen die Fachkräfte, die mit Hilfe fachlicher (elektrotechnischer) Ausbildung, Kenntnisse und Erfahrungen im Umgang mit Hochvoltkomponenten erlernen, sowie Kenntnis der einschlägigen Normen und Bestimmungen erlangen, um die ihr übertragenen Arbeiten beurteilen und mögliche Gefahren erkennen zu können.
Arbeitssicherheit und Arbeitsschutz	Es ist festzustellen, dass unabhängig vom Marktvolumen der Elektrofahrzeuge, Fragen zum Arbeitsschutz und Belastungsänderungen am Arbeitsplatz bei der Arbeit mit Hochvolttechnik in absehbarer Zeit beantwortet werden müssen. Es gibt bereits einige Regelwerke, die den Arbeitsschutz im Zusammenhang mit der Elektromobilität berücksichtigen.
Arbeitsphysiologische und -psychologische Stressforschung	Es existieren bisher keine einschlägigen Veröffentlichungen zur mentalen Belastung der Arbeiter im Umgang mit der Hochvolttechnik. Lediglich eine Untersuchung von Technikstress bei plötzlichem Technikversagen liegt vor.

Im nachfolgenden Abschnitt sollen die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche dazu dienen, eine systematische Abschätzung der Auswirkungen der Elektromobilität auf die menschliche Arbeit vorzunehmen und diese anhand geeigneter Szenarien in ihrem Ausmaß zu beschreiben.

4 Analyse der Theorie

4.1 Technologieänderungen durch die Elektromobilität

Die Entwicklung von Elektrofahrzeugen stellt die gesamte Wertschöpfungskette von Fahrzeugen vor neue Herausforderungen. Für den Automobilbereich bedeutet die Verwendung von Hochvoltkomponenten neue Gefährdungspotenziale in der Entwicklung (Transport, Lagerung, Prüfung und Entsorgung) und Fertigung (Musterbau und spätere Serienfertigung). Arbeitsschutz hat die größte Wirksamkeit, wenn er in Planungs- und Konzeptphasen, also präventiv, berücksichtigt wird. In diesen Phasen werden Entscheidungen getroffen, die die späteren Arbeitsbedingungen bestimmen. Derzeit werden verschiedene Konzepte für elektrische, funktionale und chemische Sicherheit verfolgt, deren Anforderungen sehr hoch sind, da die erwarteten Gefahren (bis hin zur Lebensgefahr!) ebenfalls als sehr hoch einzuschätzen sind. Aus der durchgeführten Literaturrecherche ist hervorgegangen, dass es nur wenige Veröffentlichungen zum Thema Arbeitssicherheit im Umgang mit Elektrofahrzeugen gibt.

Die Technologieentwicklungen und Fahrzeugeigenschaften haben nicht nur direkte Auswirkungen auf die menschliche Arbeit, sondern auch indirekt auf die Nutzerakzeptanz und das Marktvolumen. Der Einfluss des Marktvolumens äußert sich in der Auswirkungstiefe, d. h. wie tiefgreifend diese Auswirkungsarten sind. In Abb. 4.1 sind die Einflussfaktoren und deren Auswirkungen veranschaulicht.

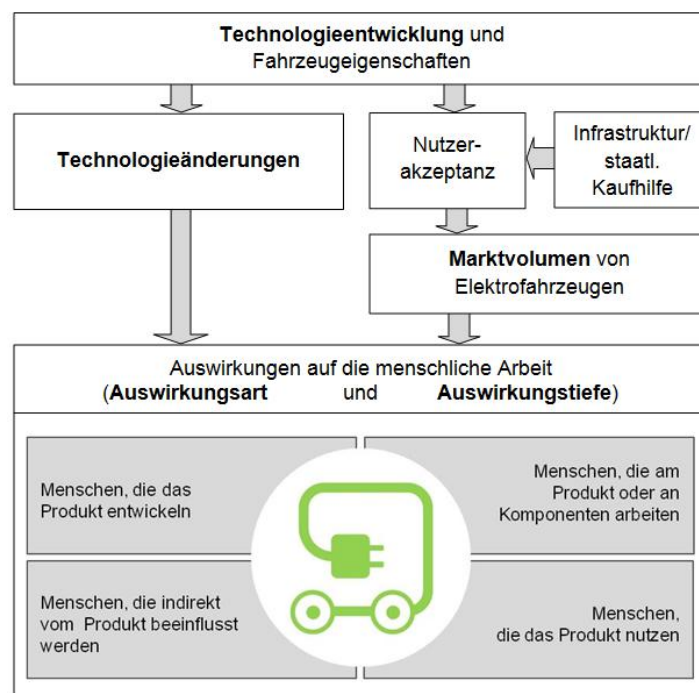


Abb. 4.1 Einfluss der Technologieänderungen auf die Auswirkungen

Die Entwicklungen in der Elektromobilität zeichnen sich aktuell durch die Verfolgung verschiedener Konzepte zur Elektrifizierung des Antriebs aus. Alle Aktivitäten verfolgen das Ziel die Entwicklungen zur Verbesserung der Effizienz, zur Reduzierung des fossilen Kraftstoffverbrauchs und zur Steigerung der Leistung im niedrigen Drehzahl-

bereich voranzutreiben. Einerseits werden Verbrennungsmotoren mit Elektromotoren und Speichertechnologien kombiniert (Hybrid), andererseits werden auch rein elektrische Antriebskonzepte verfolgt. Der Hybrid ist als eine „Übergangsform“ vom herkömmlichen Antrieb hin zum voll elektrischen Antrieb zu betrachten. Bei ihm wird eine relativ kleine Batterie (ca. 35 kg, ca. 20-50 km Reichweite) zusätzlich zum normalen Verbrennungsmotor verbaut; diese Form des elektrischen Antriebes wird schon seit mehreren Jahren in Serie produziert.

In den folgenden Ausführungen werden nur die rein elektrischen Antriebe betrachtet, da in diesem Untersuchungsfeld mit größeren Auswirkungen auf die menschliche Arbeit zu rechnen ist. Die technologischen Änderungen können grundlegend zusammengefasst werden: Wegfall von konventionellen Komponenten und Hinzufügen neuer Komponenten. Häufig wird von einem Austausch gesprochen, allerdings wird bei zukünftigen Entwicklungen von Elektrofahrzeugen zunehmend von Fahrzeug-Neukonzeptionen auszugehen sein.

Was entfällt?

Der Stand der Technik für Elektrofahrzeuge ist durch die von verschiedenen Herstellern präsentierten Pilotfahrzeuge gekennzeichnet. Aus Kostengründen werden zurzeit Direktantriebe bevorzugt, die von existierenden Fahrzeugkonzepten abgeleitet sind. Zur Verringerung der Entwicklungskosten am Produkt und der Umplanungskosten in der Fertigung werden bevorzugt bereits existierende Fahrzeugkonzepte umgerüstet. Im einfachsten Fall wird der Verbrennungs- durch einen Elektromotor ersetzt: der Verbrennungsmotor und das Schalt- bzw. Automatikgetriebe werden gegen den Elektromotor mit Festübersetzung und Wechselrichter ausgetauscht (VDE, 2010a), der restliche Antriebsstrang bleibt erhalten. In Abb. 4.2 werden die wegfallenden Komponenten bildhaft dargestellt.

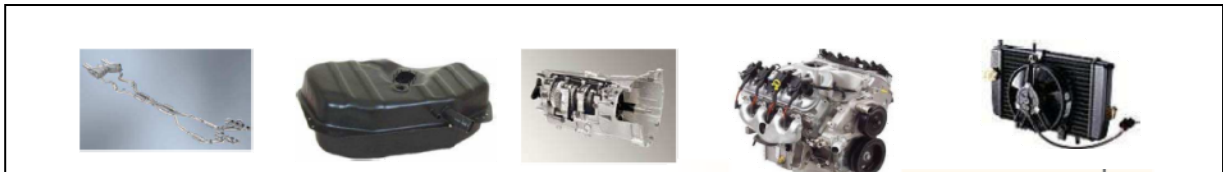


Abb. 4.2 Wegfallende Komponenten bei E-Fahrzeugen
(Quelle: Steinbeis-Stiftung)

Mit dem Wegfall dieser Komponenten sind bereits einige Vorteile verbunden:

- Wegfall der Abgase durch den Verbrennungsvorgang
- weniger Verschleißteile – weniger Reparaturen
- weniger Schmierstoffe – kein Ölwechsel mehr
- keine Motorengeräusche
- keine Bremsflüssigkeit
- keine wahrnehmbare Geräuschemissionen beim Bremsvorgang
- Kostenreduzierung bei der Montage

Diese Vorteile wirken sich auf alle Bereiche des Produktlebenszyklus aus. Besonders die Städte (während der Gebrauchsphase) und auch die Werkstätten werden bei einer flächendeckenden Einführung von der Elektromobilität profitieren. Für die Werkstätten würde das bedeuten, dass die Arbeiten bei Reparatur und Wartung sauberer und weniger gesundheitsbelastend sein werden. Allerdings ändern sich auch die Arbeitsinhalte und das Tätigkeitsprofil der Mitarbeiter, da zahlreiche neue Komponenten verbaut werden. Die Änderungen der Arbeitsinhalte werden im Punkt "Was ist neu?" in Form und Umfang näher betrachtet.

Was ist neu?

Als Elektrofahrzeug wird ein durch elektrische Energie angetriebenes Fahrzeug bezeichnet. Der Unterschied zu herkömmlichen Fahrzeugen liegt grundsätzlich bei den Antriebsaggregaten und Energiespeichern. Weiterhin unterscheiden sie sich darin, dass beim Elektrofahrzeug viele Aggregate jeweils über eigenständige Elektromotoren angetrieben werden, da es in Zukunft nicht mehr notwendig ist, den Antriebsmotor dauerhaft zu betreiben. Vielmehr kann er in den Generatorbetrieb wechseln, so dass er Bremsenergie zurück ins Bordnetz speist. Darüber hinaus werden bereits seit einigen Jahren mechanisch oder hydraulisch betriebene Hilfsaggregate elektrifiziert. Durch diese Elektrifizierung lassen sich neue Betriebsstrategien und Funktionen im Fahrzeug realisieren. Für die Entwicklung eines reinen Elektrofahrzeugs bedeutet dies, dass viele elektrische Komponenten bereits verfügbar sind. Allerdings wurden diese für ein 12 Volt System ausgelegt (VDE, 2010a), bei dem dennoch Spannungen von maximal 48 Volt auftreten können. Die elektrischen Fahrzeugantriebe arbeiten hingegen mit bis zu 1.000 Volt Spannung (auch Hochvolttechnik genannt).

Zentrale und teuerste Komponente von Elektrofahrzeugen ist die Batterie, die durch ihre Größe maßgeblich Fahrzeuggewicht und -reichweite bestimmt. Bei der Entwicklung der Batterie müssen Aspekte der Sicherheit des Gesamtsystems ebenso berücksichtigt werden wie die nachhaltige Gestaltung eines adäquaten Recyclings. Zurzeit werden eine Reihe verschiedener Speichertechnologien für elektrische Energie diskutiert und eingesetzt. In Fahrzeugen wird große Hoffnung auf die Lithium-Ionen-Technologie gesetzt, auf die sich dieses Gutachten im Weiteren konzentrieren wird. Andere Speichertechnologien, wie Nickel-Metall-Hydrid-Batterien (ca. 35 kg), die hauptsächlich in Hybridfahrzeugen verwendet werden, sollen hier aufgrund der als gering einzuschätzenden Auswirkungen unberücksichtigt bleiben.

Ein häufig betrachteter Aspekt ist die Verwendung neuer Steckverbindungen. In Anbetracht der großen Anzahl elektrischer Verbindungen zwischen den elektrischen und elektronischen Komponenten in einem Elektrofahrzeug haben sich Steckverbindungen als schnelle Anschlussmöglichkeiten für Signal- und Leistungskabel durchgesetzt. Kritisch zu betrachten sind jedoch Leistungsstecker, die zur Verbindung der Leistungskomponenten zum Einsatz kommen. Hierfür müssen neuartige Hochvoltsteckverbindungen entwickelt werden, die ebenso wie andere Komponenten Auswirkungen auf die menschliche Arbeit haben werden. Es ist zu erwarten, dass in der Entwicklungsphase die Erreichbarkeit der Anschlüsse oder deren Steckfähigkeit (Kraftaufwand, Körperhaltung) noch nicht optimal gestaltet ist.

Für den Einsatz im Elektrofahrzeug stehen momentan vier verschiedene Antriebskonzepte zur Verfügung: Zentral-Hauptantrieb (Zentralmotor), „radnahe“ Antriebe mit

konventioneller Kraftübertragung, Radnabenantriebe (Radnabenmotor), Tandemantriebe (Kombination aus Hauptantrieb und radnahem Antrieb). Die Wahl der jeweiligen Antriebsvariante orientiert sich am Fahrzeugkonzept, den Anforderungen an den Wirkungsgrad, der Energierückgewinnung und der gewünschten oder geforderten Fahrdynamik. Beim Radnabenantrieb kann auf die Verwendung eines Getriebes verzichtet werden, was positive Auswirkungen auf die Arbeitsschwere hat. Deshalb wird bei der Betrachtung von abzuleitenden Änderungen auf die menschliche Arbeit an dieser Stelle nur diese Antriebsart berücksichtigt.

Die folgenden Komponenten sind mit den größten Veränderungen für die zu betrachtenden Arbeitsbereiche verbunden und bilden somit die Grundlage für die nachfolgende Abschätzung der Auswirkungen:

- Hochvoltbatterie (> 200 kg)
- Elektromotor mit Festübersetzung
- Radnabenantriebe
- Spannungswandler und leistungsstarke Wechselrichter
- Hochvoltleitungen
- Hochvoltsteckverbindungen

Die technologischen Änderungen zeigen, dass die Komponenten sich nicht mehr hauptsächlich aus mechanischen Bauteilen zusammensetzen, sondern aus elektrischen Bauteilen. Dies führt zu einer grundlegenden Veränderung der Supply Chain Beziehungen im Automobilsektor. Mit wachsenden Produktionszahlen von Elektrofahrzeugen ist daher eine erhöhte Wertschöpfung bei Unternehmen der Elektrobranche zu erwarten. Überdies wird sich auch die Wertschöpfung der Automobilbauer verändern, deren Kernkompetenzen bisher im Karosseriebau, Motorenbau und der Montage lagen. Durch neue Antriebe und die Notwendigkeit leichterer Karossen ist eine Fokussierung auf neue Bereiche für sie zwingend notwendig, um den Marktanforderungen zu genügen. Analog ergeben sich Auswirkungen auf Werkstätten, Service und Verwertung, wo künftig neues Fachwissen für die Bewältigung der Aufgaben notwendig sein wird.

4.2 Gefahrstoffe im Umgang mit Hochvoltbatterien

Mit dem Wechsel von Kraftstoff auf elektrische Energie ergeben sich auch Änderungen in der Gefährdungssituation durch den Umgang mit Gefahrstoffen. So ist beispielsweise in den Arbeitsbereichen der Werkstätten und Kraftfahrzeugverwertungen langfristig von einer Senkung der Abgasbelastung sowie von einem verminderten Kontakt mit Ölen und Schmierstoffen auszugehen. Allerdings macht die neue Antriebstechnologie auch den Umgang mit neuen Gefahrstoffen erforderlich, die meist Bestandteil der Hochvoltbatterien sind.

Die Lithium-Ionen-Batterie ist der derzeit führend unter den Batterietechnologien. Seit fast zwanzig Jahren sind diese Batterien in unseren hochtechnischen Minigeräten wie Handy, Smartphone, Laptop, Foto- und Video-Kamera zu finden. Der Einsatz

dieser Batterien (mehrere Lithium-Ionen-Zellen in Reihe) in Kraftfahrzeugen ist aufgrund der erforderlichen Leistungsanforderungen mit erhöhten Gefährdungen bzw. Risiken verbunden.

Da es während der Batteriemontage als auch beim späteren Verbau im Fahrzeug im Regelfall zu keinem Kontakt mit Gefahrstoffen der Batteriezellen kommen kann, entstehen Gefährdungen für den Menschen 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. Aufgrund der Vielzahl möglicher Materialien und Komponenten ist es schwierig, allgemeingültige Aussagen für Lithium-Ionen-Batterien zu treffen. Abb. 4.3 zeigt zunächst in einer Übersicht die Generationen der verwendeten Materialien in der Lithium-Technologie, bevor im Anschluss auf die Gefährdungen eingegangen wird.

Untersuchte und relevante Materialien und Komponenten	1. Generation	2. Generation			3. Generation	4. Generation und Trends
Elektrochemisches System	State of Art (i.d.R. Referenzsys. Für LIB2015)	Li-ion der 2. Generation	Li-ion der 2. Generation	Li-ion der 2. Generation	Li-ion der 3. Generation	4. Generation (z.B. Li-O ₂ , S ₈ , Pn) in Zukunft
Kathodenmaterialien	LiCoO ₂ (LCO) (Schicht)	Schichtstrukt. Schichtoxide, Nmc, NCA	Olivine LiFePO ₄ nicht Fe-Olivine	Spinelle (LiMn ₂ O ₄) (LMO)	Hochvolt	Trend: 1. Weg von LiCoO ₂ 2. Co reduzieren 3. Co substituieren
Anodenmaterialien	Graphit	C-basiert (CNT, Hard-carbon, etc.)	Titanate	Legierungen (Ak, Sn, Si) Komposite (z.B. LiC ₆ -Si)		Trend: 1. Weiter C-basiert 2. Parallel Titanate, Legier., Komposite
Elektrolytmaterialien	LiPF ₆	LiPF ₆ mit Additiven	Fluorred. und fluorfrei	Polymer-elektrolyte Ionische Flüssigkeiten	SV-Elektrolyte	Trend: 1. Weg von LiPF ₆ , Reduktion F 2. Dann fluorfrei
Separatormaterialien	Keramik	Keramik ...				
Weitere Materialien	Binder	Cu-, Al-Folien, Fertigungstechnik (ins System bringen), Recycling				

Abb. 4.3 Übersicht der Materialgenerationen in der Lithium-Technologie (THIELMANN et al., 2010)

Neben dem Ziel der Batteriehersteller, die Verwendung von Gefahrstoffen zu minimieren, liegt der Fokus der aktuellen Forschungsaktivitäten insbesondere auf der Verbesserung der Haltbarkeit und Sicherheit. Da verschiedene Materialkombinationen getestet werden, können derzeit nur die Gefahren der einzelnen offiziell in der Forschung verwendeten Materialien aufgeführt werden. In Tab. 4.1 sind für diese Materialien (Gefahrstoffe) gemäß den zugehörigen Sicherheitsdatenblättern entsprechende Gefährdungen dargestellt.

Tab. 4.1 Gefährdungen aktuell verwendeter Materialien in der Lithium-Technologie

Komponenten	Materialien	Gefährdungen
Ladungs-träger	Lithium	Reagiert heftig mit Wasser Bei Direktaufnahme toxische Wirkung (FUHRMANN, 2006)
Anode	Graphit (Li_xC_6)	In fester Form unbedenklich Als Feinstaub potenziell gefährlich (Lungenerkrankungen) Graphit-Nano-Partikel bedenklich (WÖRLE-KNIRSCH et al., 2007)
	Lithium-Titanat ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)	Nanokristalle → können aufgrund ihrer geringen Größe toxisch wirken (WÖRLE-KNIRSCH et al., 2007) Kein Thermal Runaway, Explosion, Feuer (BELHAROUAK et al., 2007) Untersuchungen haben gezeigt, dass Lithium-Titanat lediglich leicht reizend für die Atemwege ist (ALTAIRNANO, 2010)
Kathode	Lithium-Cobalt-Oxid (LiCoO_2)	Cobaltsalze können zu Kardiomyopathie führen (BARCELOUX, 1999) Möglicherweise krebserregend (ANSMANN GmbH, 2006) Reizungen von Augen, Haut und Atmungssystem (ANSMANN GmbH, 2006) Kann auf Haut allergische Reaktionen auslösen (ANSMANN GmbH, 2006)
	Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxid (LiNiCoAlO_2)	Giftig (SAFT, 2009)
	Lithium-Mangan-Oxid (LiMn_2O_4)	Bei Erhitzung können giftige Dämpfe entstehen (ANSMANN GmbH, 2009)
	Lithium-Eisen-Phosphat (LiFePO_4)	Völlig ohne giftige Schwermetalle; Verwendung thermisch stabiler und nicht brennbarer aktiver Materialien (ROTHE, 2008)
Elektrolyt	LiPF_6	Mittlere bis schwere Reizungen der Haut; Reizung oder Brennen von Augen; Inhalation kann zu Reizungen in Atmungssystem führen; Entflammbar; Reagiert mit Wasser zu Flusssäure → Verstärkung obiger Reaktionen (ANSMANN GmbH, 2006)
	LiClO_4	Explosiv (NAZRI et al., 2009)
	LiAsF_6	Weniger toxisch als LiPF_6 (NAZRI et al., 2009)

Zusätzlich zu den Gefährdungen beim Kontakt mit den aufgeführten Materialien setzen sich verschiedene Autoren mit Gefahren, die von der Lithium-Ionen-Batterie im Allgemeinen ausgehen, auseinander. Neben Aussagen zu austretenden Inhaltsstoffen bei der Beschädigung der Batterie und möglichen internen Reaktionen, die zu einem Brand führen können, sind Aussagen zu Sicherheitskonzepten in der Tab. 4.2 aufgeführt. Diese Tabelle gibt einen kurzen Überblick und erhebt daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tab. 4.2 Quellenauszüge zu ausgehenden Gefahren von Lithium-Ionen-Batterien

Auszüge	Quelle
<p>→ Gefahr durch austretende Inhaltsstoffe</p> <p>„Lithium-Ionen Zellen sind gasdicht verschlossen, so dass im regulären Betrieb keine Inhaltsstoffe austreten können. Wird das Gehäuse mechanisch beschädigt so können Inhaltsstoffe gasförmig oder in flüssiger Form austreten. Eine Beschädigung des Gehäuses kann durch einen Fertigungsfehler, durch mechanische Beschädigung (Crash, unsachgemäße Behandlung) oder durch Überdruck in der Zelle erfolgen. Überdruck entsteht in der Regel durch Überhitzung der Zelle, was die Folge einer Überlastung, eines Kurzschlusses oder einer Überladung sein kann. In flüssiger Form kann der Elektrolyt austreten. Diese besteht aus einer Mischung von linearen (DMC) und zyklischen (EC, PC) Carbonaten und dem Leitsalz LiPF_6. Die Lösungsmittel sind brennbar und stark reizend. Insbesondere DMC ist leicht flüchtig und kann mit Luft explosive Gemische bilden. Das Leitsalz bildet in Verbindung mit Feuchtigkeit Flusssäure. Diese ist hoch giftig und reizt die Atemwege. Gasförmig treten hauptsächlich verdampfter Elektrolyt (Explosionsgefahr) und Zersetzungsprodukte des Elektrolyten wie Methan, Ethan, Propan und Butan und Aldehyde aus. Bedingt durch das verwendete Leitsalz (LiPF_6), kann auch das hochgiftige Phosphin entstehen. Die bisher nachgewiesenen Mengen sind allerdings sehr gering.“</p>	(GRIOß et al., 2010)
<p>„Innerhalb einer Lithium-Ionen-Zelle kann zum Beispiel eine sich selbstverstärkende exotherme Reaktion ablaufen (sogenannter Thermal Runaway), welche zu einem Brand, einer Explosion führen kann. Ein möglicher Auslösemechanismus eines Thermal Runaways kann zum Beispiel die Überladung einer Zelle sein. Die Überladung kann zu einer Kathodenzersetzung unter Freisetzung von starken Oxidationsmitteln mit daraus folgender stark exothermen Reaktion mit dem Elektrolyten führen. Dabei wird eine große Menge an heißen Gasen entwickelt, die zum Öffnen der Zelle mit Herausschleudern von gegebenenfalls brennenden Zellkomponenten führt.“</p>	(KERN et al., 2009)
<p>Hochvolt-Sicherheitskonzepte:</p> <p>„Durch Alterungs- und andere elektrische Charakterisierungstests im frühen Musterstadium der Entwicklung ist es allerdings potenziell möglich, dass sich durch irreversible Reaktionen von Zellkomponenten Gas in der Zelle entwickelt, das zu einem Öffnen des Überdruckventils der Lithium-Ionen-Zelle führen kann. Deshalb ist es erforderlich, vor der Lagerung von benutzten Batterien ... eine Sicht- und Spannungskontrolle durchzuführen. ... Für die Lagerung der Lithium-Ionen-Batterien ... werden Gefahrgutschränke verwendet. Die Lagerschränke sind in der Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102 Teil 2 von 90 Minuten (F90/T90) ausgeführt und mit einer Überdruckentlastung sowie Branddetektoren ausgestattet, welche direkt mit der Brandmeldezentrale verbunden sind. In einem Brandfall verschweißen sich weiterhin die Türen der Lagerschränke selbstständig, so dass gewährleistet ist, dass ein potenzieller Brand auf das Innere der Lagerschränke beschränkt bleibt. ...[Im] Lager sind ...[die] Lagerschränke klimatisiert und werden somit unter einer konstanten Temperatur und Luftfeuchtigkeit gehalten. Diese Lagerbedingungen ermöglichen die Einhaltung von konstanten Umweltbedingungen innerhalb der Spezifikation der Lithium-Ionen-Batterien, womit nahezu keine Alterung der Lithium-Ionen-Batterien während der Lagerung erfolgt und damit reproduzierbare Prüfbedingungen in der Entwicklung erzielt werden.“</p>	(KERN et al., 2009)
<p>„Bei Lithiumakkus bestehen hier vor allem Sicherheitsrisiken bei einem Überschreiten der zulässigen Zellspannung von – je nach Hersteller und Modell – etwa 4,2 Volt pro Einzelzelle. Oberhalb dieser Spannung treten ungewollte chemische Reaktionen, die im günstigsten Fall die Zelle einfach unbrauchbar machen. Im ungünstigen Fall wird darin metallisches Lithium freigesetzt, das mit anderen Substanzen in der Zelle heftige chemische Reaktionen hervorruft.“</p>	(WELTER, k.A.)

Zusammenfassend wird festgestellt, dass sich Änderungen in der Gefährdungssituation durch den Kontakt mit Gefahrstoffen im Produktlebenszyklus eines Elektrofahrzeuges im Wesentlichen auf die Hochvoltbatterie begrenzen lassen.

Ausgehend von den im Kapitel 4.1 und 4.2 erläuterten Ursachen und Risiken der technologischen Änderungen werden im nachfolgenden Kapitel 4.3 die Auswirkungen auf die menschliche Arbeit zunächst klassifiziert. Dazu ist zwischen Auswirkungsart und Auswirkungsgrad zu unterscheiden. Die Beschreibung der Auswirkungsart dient der Klassifizierung der Auswirkungen nach arbeitswissenschaftlich relevanten, insbesondere den Arbeits- und Gesundheitsschutz betreffenden Gesichtspunkten. Durch die Betrachtung des Auswirkungsgrades soll im Kapitel 4.4 mit Hilfe einer Szenarienbildung beschrieben werden, in welchem Umfang Auswirkungen zu erwarten sind.

4.3 Klassifizierung der Auswirkungen auf die menschliche Arbeit

4.3.1 Auswirkungsarten

Während die neuen Technologien und Antriebskonzepte im weiten Rahmen und öffentlichkeitswirksam erforscht werden, findet die entsprechende Gestaltung der zukünftigen Arbeitsplätze im Produktentwicklungs- und Herstellungsprozess sowie in den angrenzenden Bereichen bisher nur wenig Beachtung. Allerdings können die Auswirkungen auf die menschliche Arbeit derzeit im Wesentlichen nur über eine indirekte Beurteilung abgeschätzt werden. Eine indirekte Beurteilung bedeutet, dass aus den Veränderungen bekannter Beziehungen auf eine Wirkung geschlossen wird, beziehungsweise diese vorhergesagt werden kann (KIRCHNER, 1993). Eine solche Beurteilung ist in der Praxis meist der Vorläufer konkreter Gestaltungsmaßnahmen:

- als Rechtfertigung oder Begründung für das Erfordernis einer Einflussnahme
- zur Ermittlung von Rahmenbedingungen als Ausgangspunkt für eine Gestaltung
- als Bezugsbasis für die Beurteilung von Vorschlägen.

Mit dieser Vorgehensweise können Anregungen für arbeitswissenschaftliche Gestaltungsmaßnahmen im Umgang mit der Elektromobilität gegeben werden. Dafür ist es sinnvoll, die Auswirkungsarten in Anlehnung an die allgemeinen Schwerpunktthemen der Arbeitswissenschaft (siehe Abb. 4.4) zu strukturieren. Zunächst ist es wichtig, die neu entstehende Gefährdungssituation beim Umgang mit der Elektromobilität zu beschreiben. Die damit in Zusammenhang stehenden Auswirkungen auf die qualifikatorischen Anforderungen an die Mitarbeiter sind für jeden Bereich des Produktlebenszyklus gesondert zu betrachten. Weiterhin sind belastungsrelevante Aspekte, Gestaltung und technische Ausstattung der Arbeitsplätze sowie Auswirkungen auf die Arbeitsplatzorganisation abzuschätzen.

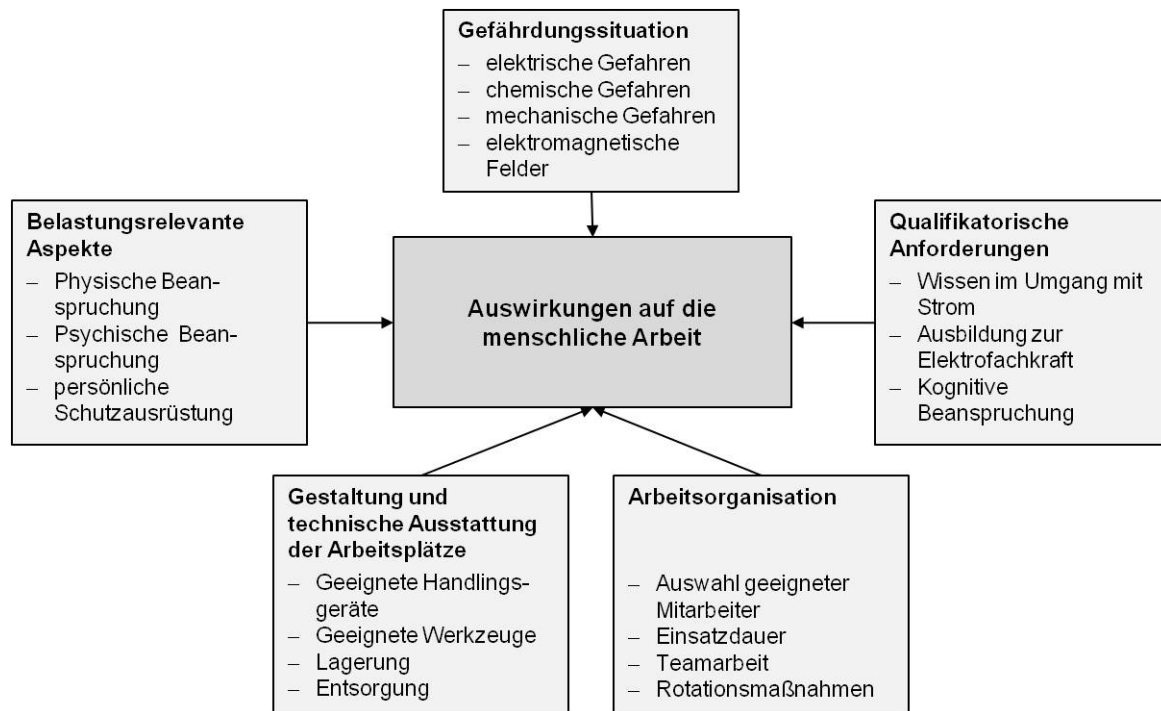


Abb. 4.4 Übersicht der Auswirkungsarten auf die menschliche Arbeit

Diese Auswirkung können unabhängig vom prognostizierten Marktvolumen der Elektrofahrzeuge betrachtet werden, d. h. sie sind bereits bei einer Stückzahl von eins zu erwarten, sobald Teile oder der gesamte Produktlebenszyklus durchlaufen werden. In jedem Bereich des Produktlebenszyklus werden ähnliche oder auch unterschiedliche Ausprägungen der Auswirkungen zu beobachten sein. So wird zum Beispiel bei herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor mit einer Spannung von maximal 48 Volt gearbeitet. Die elektrischen Antriebe arbeiten hingegen mit Spannungen von bis zu 1000 Volt; bei Wechselspannungen über 50 Volt und Gleichspannungen über 120 Volt besteht Lebensgefahr!

Das Gefährdungspotenzial ist vorrangig durch den Einsatz von Hochvoltbatterien und das Hochvoltnetz in Elektrofahrzeugen bestimmt. Um die Gefahren in der Arbeitswelt zu begrenzen, gibt es folglich einen großen Bedarf an Qualifikation, wodurch die kognitiven Fähigkeiten der Mitarbeiter stark beansprucht werden. In Bezug auf körperliche Belastungen lässt sich ohne weitere Untersuchungen kein klares Bild zeichnen, da es noch zu wenige Erfahrungen in der Serienproduktion von Elektrofahrzeugen gibt. Ein Anstieg der psychischen Belastungen wird jedoch vermutet.

Was unter den einzelnen Auswirkungsarten im Zusammenhang mit der Elektromobilität zu verstehen ist, wird in der Tab. 4.3 erläutert.

Tab. 4.3 Beschreibung der Auswirkungsarten auf die menschliche Arbeit

Gefährdungssituation (siehe auch Tab. 4.2)
<p><u>Elektrische Gefahren</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - beim Berühren von Spannung führenden Teilen kann es zu einem tödlichen elektrischen Schlag kommen - Brandgefahr durch Lichtbogen im Gleichstrombereich - Überladung kann zur Überhitzung führen - Externer Kurzschluss kann zu Überhitzung der Batterie führen - durch Kurzschluss können Feuer oder Verbrennungen verursacht werden <p><u>Thermische Gefahren</u></p> <p>Überdruck entsteht in der Regel durch Überhitzung der Zelle, was die Folge einer Überlastung, eines Kurzschlusses oder einer Überladung sein kann.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Überhitzung (>120 °C) kann zu Selbstentzündung führen - Durch Überhitzung kann es in den Lithium-Ionen-Batterien zum Schmelzen des Separators und damit zu einem Kurzschluss kommen (keramische Separatoren können das verhindern) <p><u>Chemische Gefahren</u></p> <p>Lithium-Ionen Zellen sind gasdicht verschlossen, so dass im regulären Betrieb keine Inhaltstoffe austreten können. Wird das Gehäuse mechanisch beschädigt so können Inhaltstoffe gasförmig oder in flüssiger Form austreten. Gasförmig treten hauptsächlich verdampfter Elektrolyt (Explosionsgefahr) und Zersetzungsprodukte des Elektrolyten wie Methan, Ethan, Propan und Butan und Aldehyde aus.</p> <p><u>Mechanische Gefahren</u></p> <p>Eine Beschädigung des Gehäuses kann durch einen Fertigungsfehler, durch mechanische Beschädigung (Crash, unsachgemäße Behandlung) oder durch Überdruck in der Zelle erfolgen.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beschädigung der Isolation von Hochvoltleitungen, so dass andere Bauteile Strom führen - beschädigte Lithium-Ionen-Batterien reagieren heftig mit Wasser - bei Ausfall der Temperatur- und Spannungsüberwachung kann es schnell zur Schädigung und/oder Zerstörung der Batterien kommen - Freisetzung des Elektrolyts und sehr starke Erhitzung
Belastungsrelevante Aspekte
<p><u>Physische Belastung</u></p> <p>Diese Belastung ist in Bezug auf zu erwartende Veränderungen beim Handling einzelner Fahrzeugkomponenten zu bewerten. Änderungen ergeben sich beispielsweise durch neue Bauteile, wie Nabenantriebe oder schwere Hochvoltbatterien, aber auch aus der Veränderung bzw. dem Wegfall von typischen Komponenten, wie dem Verbrennungsmotor oder dem Getriebe.</p> <p>Ohne spezielle Hilfsmittel wird der Austausch von Hochvoltbatterien bei den Mitarbeitern zu einer hohen Belastung führen. Andererseits vermindert der Wegfall einer Auspuffanlage die Anzahl notwendiger Reparaturen am Fahrzeugunterboden, was wiederum den Umfang von Überkopfarbeit senken kann.</p> <p><u>Psychische Belastung</u></p> <p>Der Umgang mit Hochvoltkomponenten kann bei Arbeitspersonen zum Auftreten von Ängsten und Stress führen. Der Druck Bildungsmaßnahmen beiwohnen zu müssen, ist dabei ebenso ein Belastung für Mitarbeiter, wie die Angst vor Verletzungen durch den Umgang mit diesen Komponenten oder dem Verlust des Arbeitsplatz an andere Berufsgruppen, beispielsweise Elektriker.</p> <p>Besonders bei unzureichender konstruktiver Unterstützung kann es für Mitarbeiter notwendig sein, im Umgang mit der Technik komplexe Entscheidungen zu treffen, welche diese zusätzlich psychisch belasten. Entsprechend sind Möglichkeiten der konstruktiven Unterstützung ausführender Tätigkeiten, wie Poka Yoke, für die Minimierung psychischer Belastungen von großer Bedeutung.</p> <p><u>Persönliche Schutzausrüstung</u></p> <p>Beim Umgang mit Hochvoltkomponenten ist es unter Umständen erforderlich Schutzkleidung zu tragen.</p> <p>Ein sicherer Umgang mit Hochvoltkomponenten kann das Tragen weiterer, zusätzlicher Schutzkleidung erforderlich machen. Je nach Ausführung und Notwendigkeit kann solche Schutzausrüstung den Mitarbeiter durch ihr Eigengewicht oder durch die Einschränkung der Beweglichkeit zusätzlich belasten. Auch die Akzeptanz zusätzlicher Schutzmaßnahmen kann eventuell zu Problemen führen.</p>

Qualifikatorische Anforderungen

Grundlage einer sukzessiven Ausrichtung der automobilen Wertschöpfungskette hin zur Elektromobilität ist die Ausbildung und Qualifikation der beteiligten Mitarbeiter. In sämtlichen Bereichen, angefangen bei der Batterieforschung über die Forschung und Entwicklung auf Komponenten- und Systemebene, Produktion, Vertrieb, Reparatur und Wartung sowie Recycling bedarf es qualifizierter Fachkräfte. Diese können zum Teil durch Weiterbildungsmaßnahmen und Zusatzausbildungen gewonnen werden. Speziell im Bereich Wartung, Reparatur und Sicherheit, also in Kfz-Werkstätten, bei Kfz-Prüfstellen und Rettungsdiensten müssen Mitarbeiter durch Fortbildungen auf die Besonderheiten und Gefahren der Mittel- und Hochspannung vorbereitet werden (ACA-TECH, 2010a).

Wissen im Umgang mit Strom/Ausbildung zur Elektrofachkraft

Mit Spannungen über 48 V dürfen Mechaniker oder Mechatroniker nur arbeiten, wenn sie zuvor eine entsprechende Weiterbildung absolviert haben. Es existiert bereits eine Vielzahl verschiedener Aus- und Weiterbildungsangebote:

- BGI 548. (2006). *Elektrofachkraft*.
- BGI 8686. (2010). *Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltssystemen*.
- BGR A3. (2006). *Arbeiten unter Spannung an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln*.
- BGR 189. (2007). *Benutzung von Schutzkleidung*.
- BGR 195. (2004). *Einsatz von Schutzhandschuhen*.
- BGV A3. (2005). *Elektrische Anlagen und Betriebsmittel*.

Kognitive Belastung

In diesem Zusammenhang ist die Fähigkeit von Bedeutung, das Wissen über und den Umgang mit der Hochvolttechnik zu beherrschen, ohne dabei psychische Belastungen in Kauf zu nehmen. Dies kann einen Einfluss auf die Arbeitsplatzorganisation und die Auswahl geeigneter Mitarbeiter z. B. bei Arbeitsplatzrotation haben. Gerade bei einem langsamen Übergang zur Elektromobilität ist mit einer höheren Komplexität an den Produktionsarbeitsplätzen zu rechnen, da zu erwarten ist, dass einzelne Arbeitspersonen gleichsam elektrisch und konventionell betriebene Fahrzeugmodelle montieren müssen. Betroffen sind auch Service- und Rettungskräfte sowie Verwerter, die mit einer steigenden Zahl von Modellen vertraut sein müssen. Nicht zuletzt aus diesem Grund bilden Unterweisungen und Weiterbildungen eine wesentliche Stütze der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes.

Gestaltung und technische Ausstattung der Arbeitsplätze

Geeignete Handlingsgeräte

Für den Ein- und Ausbau schwerer Komponenten, die durch den Wandel zur Elektromobilität eingeführt werden, müssen neue Handlingsgeräte entwickelt werden. Werden diese nicht angeschafft oder nicht verwendet, kann es vermehrt zu Überbelastungen der Arbeitspersonen kommen. Besonders gefährlich können hierbei Arbeitsunfälle sein, bei denen das Entgleiten der Batterie zu Verletzungen und einer Beschädigung dieser führen können.

Geeignete Werkzeuge

Bei der Arbeit an spannungsführenden Teilen ist es unumgänglich, mit speziell ausgelegtem Werkzeug zu arbeiten. Weiterhin werden eventuell neue Testgeräte und Prüfeinrichtungen benötigt. Durch den Einsatz neuer Bauteile und Materialien ist außerdem mit der Notwendigkeit weiterer neuer Werkzeuge zu rechnen. Die Verwendung falscher Werkzeuge birgt hierbei direkte Gefahren für ausführende Mitarbeiter, beispielsweise Verletzungen durch Abrutschen. Das Verletzen elektrischer Leiter oder Bauteile durch Verwendung falscher Werkzeuge kann zudem einen elektrischen Schlag oder Kurzschluss verursachen.

Lagerung

Bei der Lagerung von Gefahrgut, wie der Hochleistungsbatterie müssen bestimmte Auflagen erfüllt werden; selbiges gilt auch für ihren Transport. Entsprechende Richtlinien für den Transport von Lithium-Ionen-Zellen existieren bereits. Abweichungen von diesen Auflagen und Richtlinien können jedoch zu einer großen Gefahr für Personen im Umfeld des Gefahrguts werden.

Entsorgung

Die technischen Änderungen bedingen eine Überarbeitung der Verwertungsstrukturen. So müssen Autoverwerter neue Arbeitsaufgaben übernehmen, beispielsweise Ausbau und gesonderte Verwertung der Hochvoltbatterien. Positiv zu vermerken ist, dass im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor weniger Gefahrstoffe entsorgt werden müssen. Weitere Belastungen ergeben sich aus der Entsorgung der Hochvoltbatterien beim Spezialrecycling.

Arbeitsorganisation

Auswahl geeigneter Mitarbeiter

Für die Arbeit an Elektrofahrzeugen (Montage, Wartung oder Verwertung) kann nur unterwiesenes Fachpersonal eingesetzt werden. Folglich besteht eine direkte Abhängigkeit zwischen Arbeitsplanung und der Verfügbarkeit bereits ausgebildeter Mitarbeiter. Werden nicht genügend Mitarbeiter ausgebildet, werden neue Konzepte für die Einsatzplanung notwendig.

Zugleich stellt die Ausbildung neuen Fachpersonals eine Schwierigkeit für die Personalplanung dar, wenn Abwesenheiten während der Qualifikationsmaßnahmen kurzfristig ausgeglichen werden müssen. Das Profil für zukünftige Bewerber auf offene Stellen ändert sich ebenfalls.

Einsatzdauer/Rotationsmaßnahmen

Steigende Komplexität, zusätzliche psychische und physische Belastungen durch Tätigkeiten am Elektrofahrzeug können die Beanspruchung der Mitarbeiter in der Arbeitszeit beeinflussen. Ein Anstieg der Beanspruchung hat zur Folge, dass die Tätigkeitsdauer an Elektrofahrzeugen im Vergleich zu Verbrennungsmotorfahrzeugen verringert werden muss.

Neben der Begrenzung der Arbeitszeit ist hierbei jedoch auch eine zusätzliche Rotation zu verschiedenen Arbeitsplätzen denkbar. Kann dies nicht erfolgen, besteht die Gefahr einer übermäßigen Belastung der Arbeitspersonen.

Teamarbeit

Bei den verschiedenen Konzepten der Elektromobilität kann es sinnvoll sein, Teams aus Mechanikern und Elektrikern zu bilden, um die Qualität des gesamten Arbeitsablaufs sicherzustellen. Eine solche Teambildung erscheint besonders bei Hybridfahrzeugen von Vorteil.

Auch im Sinne der Einsatzdauer kann Teamarbeit zu einer besseren Belastungsverteilung über mehrere Mitarbeiter dienen. Durch kombiniertes Fachwissen der einzelnen Mitarbeiter können zudem psychische Belastungen durch komplexere Entscheidungsprozesse bei der Arbeit an Elektrofahrzeugen verringert werden.

Die erreichte Leistung und Sicherheit einer Lithium-Ionen-Batterie hängt in großem Maße vom Batterie-Management-System ab. Dieses sorgt durch genaue Steuerung der Lade- und Entladevorgänge sowie durch Überwachung der wichtigsten Betriebskenngrößen (Ladezustand einzelner Zellen, Lade-/Entladestrom, Temperatur) für einen optimalen Betrieb aller verbauten Zellen. Auf diese Weise schützt es das Gesamtsystem vor verschiedenen Gefährdungsszenarien (MANFRED MUSTER CONSULTING (MMC), 2010). Übliche Gefährdungen ergeben sich meist durch Überhitzung der Zellen. Diese kann direkt durch Überladung oder durch Dendritenwachstum, das die Separatorschicht beschädigt, ausgelöst werden (HRACH et al., 2011). Auch unkontrollierte Entladung, durch einen externen oder einen inneren Kurzschluss in Folge einer mechanischen Beschädigung, kann zur Überhitzung führen (KITOH et al., 1999). In Folge der Überhitzung kann es zur Selbstentzündung des Systems kommen (BABIEL, 2009). Weiterhin ist eine starke Reaktion von Lithium mit Wasser bekannt.

Bei der Auseinandersetzung mit dem Gefahrenpotenzial kann in Gefahren aufgrund technischen und menschlichen Versagens unterschieden werden. Je nach Gefahrenursprung müssen unterschiedliche Maßnahmen ergriffen werden. Dem menschlichen Versagen kann z. B. mit ausreichender Qualifizierung weitgehend entgegengewirkt werden. Arbeitgeber müssen darüber hinaus geeignete Arbeitsumgebungen für die Elektromobilität schaffen. Tun sie dies nicht, sind negative Auswirkungen auf Arbeitsschutz und Gesundheit der Mitarbeiter wahrscheinlich. Gleiches gilt für die Arbeitsorganisation: Hier kann es notwendig sein, andere organisatorische Maßnahmen zu treffen, um neue Belastungen – als indirekte Auswirkungen der technischen Änderungen – auszugleichen.

4.3.2 Auswirkungsgrad

Laut einer Studie des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) sind die Deutschen bereit für den Systemwechsel zur Elektromobilität: 52 % der Bundesbürger glauben, dass das Elektrofahrzeug das herkömmliche Fahrzeug ablösen wird. 54 % sind davon überzeugt, dass es bis zum Jahr 2020 in die Massenproduktion geht. 64 % der Deutschen wären bereit, sich ein Elektrofahrzeug anzuschaffen (VDE, 2010). Die Erwartungen an die batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge sind jedoch sehr hoch. Ob die veröffentlichten Kauf- und Nutzerzahlen solcher Fahrzeuge für die kommenden Jahre zu verwirklichen sind ist allerdings unklar (J.D. POWER AND ASSOCIATES, 2010). Die Formulierung von Szenarien ermöglicht es, verschiedene Blicke in die Zukunft zu wagen und die zu erwartenden Auswirkungen abzuschätzen. Dazu ist es wichtig die Auswirkungen in ihrer Auswirkungstiefe zu beschreiben.

Die Auswirkungstiefe kann in Abhängigkeit vom Marktvolumen der Elektrofahrzeuge dargestellt werden. Je größer das Marktvolumen desto tiefgreifender sind die Auswirkungen zu erwarten. In welcher Ausprägung es zu Auswirkungen kommen kann, wurde ausführlich im Abschnitt 4.2 erörtert. Da das Marktvolumen zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung nicht eindeutig vorhersehbar ist, werden mit Hilfe der Szenariotechnik mögliche Entwicklungen des Marktvolumens abgegrenzt. Es kann nach Auswertung der Literaturrecherche (vgl. Tab. 3.2) von drei als durchaus realistisch einzuschätzenden Szenarien für die Ermittlung des Auswirkungsgrades ausgegangen werden.

Für die Bildung der Szenarien sind zuerst die Einflussfaktoren auf das Marktvolumen von Elektrofahrzeugen zu definieren. Die im Vorfeld durchgeführte Literaturrecherche zeigt, welche Prognosen, Konzepte und Ideen es derzeit gibt. Auf Bundes- und Landesebene wurden erste Förderprogramme initiiert, die Forschung und Marktvorbereitung der Elektromobilität vorantreiben sollen. Neben der staatlichen Strategie, haben auch die technologischen Entwicklungen und die daraus resultierenden Fahrzeugeigenschaften einen erheblichen Einfluss auf das Marktvolumen. All diese Einflüsse bündeln sich beim zukünftigen Nutzer der Elektrofahrzeuge; erst wenn alle Konzepte positiv angenommen werden, steigt die Kaufbereitschaft. Die Einflüsse sind in Abb. 4.5 noch einmal veranschaulicht.

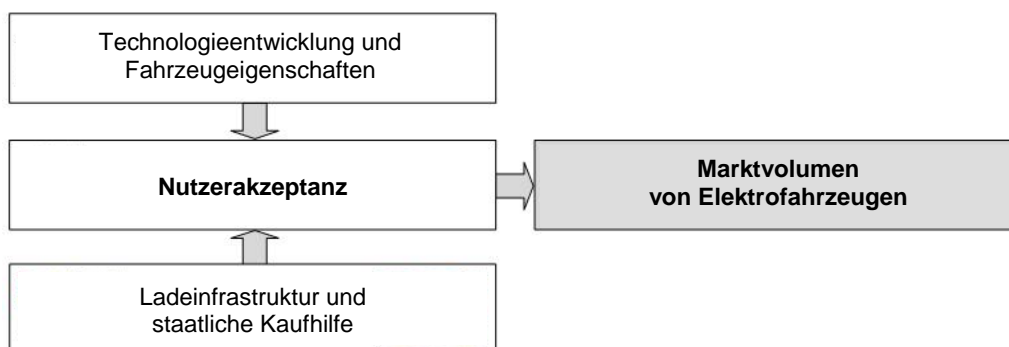


Abb. 4.5 Einflussfaktoren auf das Marktvolumens von Elektrofahrzeugen

Die Entwicklungen in der Speichertechnologie sind für die Ausprägungen des Marktvolumens bestimmend. Aus den technologischen Entwicklungen ergeben sich sowohl wirtschaftliche als auch ökologische Eigenschaften. Die zentralen Herausforderungen sind bei Reichweite, Anschaffungspreis und Ladedauer (ACATECH, 2010a) zu finden.

Technologieentwicklung und Fahrzeugeigenschaften

Das Kernstück von Verkehrstechnik stellt die Energieversorgung dar. Während konventionelle Fahrzeuge auf einen fluiden Energieträger (Benzin, Diesel oder Gas) zurückgreifen und diesen durch Verbrennung in mechanische Energie umwandeln, setzt die Entwicklung neuer elektrischer Fahrzeuge entweder auf die Verwendung von Energiespeichern oder Brennstoffzellen. Da Brennstoffzellen trotz groß angelegter Förderprogramme und internationaler Forschungsbemühungen im vergangenen Jahrzehnt keine signifikante Marktdurchdringung erreicht haben, liegt der Fokus der Entwicklung im Bereich der Elektromobilität momentan deutlich bei Konzepten mit Energiespeichern.

Folglich beeinflusst der Energiespeicher des Elektrofahrzeugs dessen Gebrauchseigenschaften in hohem Maße. Die maximale Kapazität des Speichers bestimmt, in Abhängigkeit vom elektrischen Verbrauch des Antriebs und der Nebenaggregate, die maximal mögliche Reichweite eines Elektrofahrzeugs. Nach Fleischer und Weil müssen also Speichermedien entwickelt werden, die eine hohe Energie- und Leistungsdichte mit einer langen Lebensdauer – sowohl kalendarisch als auch bezogen auf die Zahl der Ladezyklen – und hoher thermischer Stabilität verbinden. Darüber hinaus führen sie an, dass der Erfolg eines Speichersystems von den anfallenden Kosten sowie weiteren Eigenschaften, wie beispielsweise Betriebssicherheit und Schadenaufverhalten, maßgeblich bestimmt wird (FLEISCHER et al., 2010). Ein weiteres wichtiges Charakteristikum des verwendeten Energiespeichersystems stellt die Ladezeit dar (MANFRED MUSTER CONSULTING (MMC), 2010).

Aktuell gibt es eine Vielzahl denkbarer Energiespeicher, wobei es sich bei dem Großteil der verfügbaren Technologien um elektrochemische Speichersysteme handelt. Einzig Superkondensatoren, d. h. auch Doppelschichtkondensatoren, werden momentan im Kontext der Elektromobilität als nicht-elektrochemischer Speicher genannt (FLEISCHER et al., 2010). In diesem Gutachten soll der Fokus auf der Akkumulator-Technologie liegen. Bislang wurden die folgenden Akkumulator-Technologien in Elektroautos getestet, eingesetzt oder auf ihre Eignung hin überprüft: Blei-Säure, Nickel-Cadmium, Nickel-Metallhydrid, Natrium-Schwefel, ZEBRA (NaNiCl), Vanadium-Redox-Flow, Lithium-Ion und Lithium-Polymer. Obwohl diverse Pilotversuche elektrischer Fahrzeugkonzepte der letzten Dekade mit Blei-Säure-Akkumulatoren (weite Verbreitung in der Flurfördertechnik) durchgeführt wurden, soll sich an dieser Stelle auf die Lithium-Ionen-Technologie beschränkt werden. Dies erscheint sinnvoll, da diese Technik nach Expertenmeinung das größte Potential hat, ausreichende Leistungskenngrößen zu erreichen. Besonders die hohe Zellspannung und die erreichbare Energiedichte sprechen für diese Technologie (BMBF, 2010).

Obwohl Lithium-Ionen-Akkumulatoren bereits seit Jahren auf dem Markt der Unterhaltungselektronik verfügbar sind und Anwendung finden, hat Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern, wie USA, Korea, Japan oder Israel, bislang verhältnis-

mäßig wenig Fachkompetenz in diesem Bereich (ACATECH, 2010a). Aktuelle Anstrengungen sind darauf gerichtet, diese Lücke zu schließen. Hierzu werden Allianzen auf verschiedenen Ebenen ins Leben gerufen, wobei Deutschland mit Erfahrungen im Bereich des automobilen Premiumsektors eine gute Basis vorweisen kann (BMBF, 2010). Eine erfolgreiche Kooperation repräsentiert das *Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterie*, welches mit 25 Mitgliedsunternehmen und -organisationen eine erste Produktionsanlage für Musterserien von Lithium-Ionen-Batterien aufbaut (BMBF, 2011). Ein Beispiel für aktuelle Forschungsanstrengungen ist die vom Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik entwickelte Software zur Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien. Sie soll helfen, durch Simulation schneller geeignete Materialkombinationen zu entwickeln, ohne dass Tests nach dem „Trial-And-Error“-Prinzip durchgeführt werden müssen (WIDMANN, 2011).

Allgemein ist ein hohes Forschungsaufkommen im Bereich der Lithium-Ionen-Technik zu verzeichnen. Laut einem Bericht der Boston Consulting Group (BOSTON CONSULTING GROUP, 2010) entfielen im Jahr 2008 62 % aller Patentanmeldungen im Bereich der Energiespeicher auf Lithium-Ionen-Batterien, was einem Zuwachs von 26 % gegenüber dem Jahr 2005 entspricht. Die größte Herausforderung der Entwicklungen ist die Reduzierung der Kosten für Batterien. Um wirtschaftlicher produzieren können ist das vorangige Ziel der Batterielieferanten, die Ausschussquoten von derzeit 10 bis 60 % weiter zu senken. Der Bericht kommt zu dem Ergebnis, dass bis zum Jahr 2020 eine Kostenreduzierung von 60 bis 65 % möglich ist, wobei diese größtenteils in der Produktion erzielt werden kann.

Neben den Lithium-Ionen-Batterien wird auch an der verwandten Lithium-Polymer-Technik geforscht. So konnte DBM Energy im Jahr 2010 mit einem eigens entwickelten Lithium-Polymer-Akkumulator („Kolibri-AlphaPolymer Batterie“) eine 600 km lange Testfahrt ohne Nachladen erfolgreich absolvieren. Eine Untersuchung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ergab keinerlei Sicherheitsbedenken für die verwendete Technologie. Die Erprobung eines kleineren Nachbaus der während der Testfahrt verwendeten Batterie durch die DEKRA sei überdies erfolgreich verlaufen und habe zu vergleichbaren Ergebnissen geführt (DBM ENERGY, 2011). Die größte Problematik der Konstruktion von batterieelektrischen Fahrzeugen ist die Abwägung zwischen Gewicht und Batteriekapazität. Da die Kapazität der Batterie proportional zu ihrem Eigengewicht ist, bedeutet der Einbau einer größeren Batterie zugleich ein Anstieg des Fahrzeuggewichtes. Dieses macht einen stärkeren Antrieb notwendig, was sich wiederum auf den Energieverbrauch und somit auf die maximale Reichweite auswirkt. Aufgabe der Konstruktion ist es folglich, ein Optimum zu finden, das den gewünschten Nutzeransprüchen am ehesten entspricht.

Ladeinfrastruktur und staatliche Kaufhilfe

Bei der Markteinführung von Elektrofahrzeugen spielt neben den zuvor erörterten fahrzeugbezogenen Faktoren auch der Ausbau der Ladeinfrastruktur eine wichtige Rolle. In der Regel kann davon ausgegangen werden, dass die Ladeinfrastruktur sukzessive mit dem Elektrofahrzeug-Bestand wächst. Während der Markteinführungsphase hat jedoch der potenzielle Nutzer/Käufer „Angst“, sein Elektrofahrzeug nicht laden zu können, wenn dies ungeplant notwendig wird. Aus diesem Grund beeinflusst der Ausbaustand der Ladeinfrastruktur erheblich das Kaufverhalten und die Kaufentscheidung der Nutzer.

Vor dem Aufbau einer Ladeinfrastruktur ist eine der unterschiedlichen Ladetechniken auszuwählen. Zum einen besteht die Möglichkeit Fahrzeuge induktiv und zum anderen induktiv zu laden. Konduktives Laden sieht das kabelgebundene Laden des Energiespeichers eines Elektrofahrzeugs an einer Ladestation vor. Induktionssysteme ermöglichen dagegen ein berührungsloses Laden entweder während der Standzeit des Fahrzeuges auf einem dafür vorgesehenen Stellplatz oder während der Fahrt mittels unterirdischer Induktiv-Sendespulen. Neben diesen Lösungen zum Laden des Energiespeichers wird der Ansatz diskutiert, eine leere Batterie bei Bedarf an speziellen Wechselstationen gegen eine geladene Batterie auszutauschen. Dieses System setzt einen hohen Grad an Standardisierung der Batterien sowie deren Unterbringung im Fahrzeug voraus. Aufgrund des hohen Gewichts des Batteriesystems kommt ein Robotersystem zum Einsatz, welches den entladenen Speicher gegen einen geladenen austauscht (TENDERICH et al., 2008). Vorreiter auf diesem Gebiet ist der Mobilitätsdienstleister Better Place, der in mehreren Ländern und Regionen (u. a. Israel und Dänemark) den flächendeckenden Aufbau von Wechselstationen plant (BETTER PLACE, 2010). Seit April 2010 läuft der erste Feldversuch mit Elektrotaxis in Tokio; von Seiten der Automobilhersteller wird dieses Wechselkonzept von Renault/Nissan unterstützt (BETTER PLACE, 2011). Als Erfolg kann in diesem Zusammenhang bereits gewertet werden, dass sich Automobilhersteller und die europäischen Energieversorger auf einen einheitlichen Ladestandard (MANFRED MUSTER CONSULTING (MMC), 2010) einigen konnten. Dies vermittelt eine ernstzunehmende Präsenz des Themas Elektromobilität.

Für die nächsten zehn Jahre ist es wichtig über staatliche Fördermaßnahmen, Feldversuche und Pilotprojekte eine schnelle Marktdurchdringung für Elektrofahrzeuge zu erreichen. Verschiedene Fördermaßnahmen bereiten derzeit den Weg, die Technologieführerschaft zu erreichen.

Nutzerakzeptanz

Seit der Einführung von Lithium-Ionen-Batterien Anfang der 1990er Jahre wurden in dieser Technologie große Fortschritte erzielt. Wie schnell die Weiterentwicklung bis zum Jahr 2020 fortschreitet und die Energiedichte der Zellen soweit ausreicht, dass Elektrofahrzeuge mit ähnlichen Reichweiten wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren betrieben werden können, bleibt offen. Inwiefern die Elektrofahrzeuge von den Nutzern angeschafft werden hängt folglich von vielerlei Faktoren ab. Zum einen von den bereits beschriebenen technischen Eigenschaften und des Weiteren vom Ausbau einer geeigneten Infrastruktur. Abb. 4.6 stellt die Nutzerakzeptanz im Spannungsfeld zwischen Nachfrage und Angebot dar.

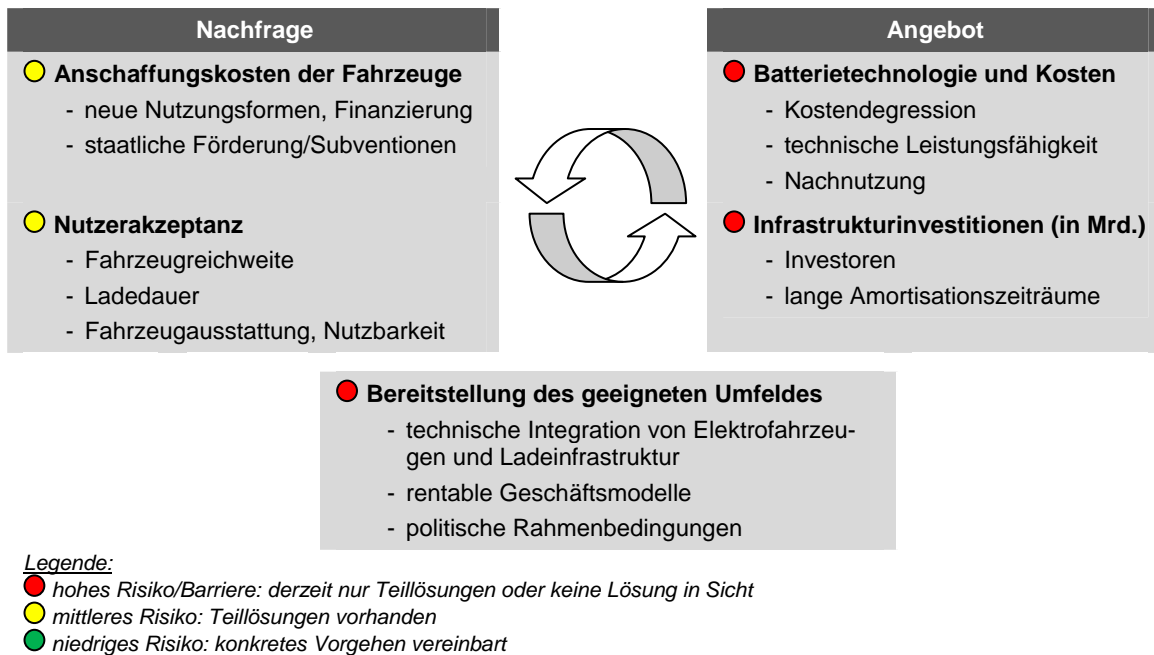


Abb. 4.6 Nutzerakzeptanz im Spannungsfeld der Elektromobilität
(Quelle: PRTM Management Consultants, modifiziert)

Die Abbildung verdeutlicht, dass die Nutzerakzeptanz zum heutigen Stand der Elektromobilität kurzfristig eher nicht zu erhöhen ist. Das Risiko der Umsetzbarkeit in den einzelnen Themenfelder wird als mittel bzw. hoch eingeschätzt.

Mit Blick auf die Nutzerakzeptanz bieten Plug-In-Hybridfahrzeuge mit ihrer seriellen Bauweise besondere Vorteile. Sie ermöglichen längere Fahrten mittels einer am Stromnetz aufladbaren Batterie. Die Batterie kann bei Bedarf auch während der Fahrt durch einen Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt, aufgeladen werden, so dass mit entsprechendem Nachtanken uneingeschränkte Mobilität möglich ist. Durch den Betrieb im optimalen Drehzahlbereich kann der Verbrennungsmotor sehr effizient arbeiten. Da in dieser Art von Hybridfahrzeugen beide Antriebskonzepte vereint sind, ist mit größeren Kosten als bei elektrisch oder konventionell betriebenen Fahrzeugen zu rechnen. Inwieweit diese beim Kunden durch die besseren Nutzungseigenschaften aufgewogen wird bleibt abzuwarten.

Eine Untersuchung von BIERE et al. (2009) kommt zu dem Ergebnis, dass batterieelektrische Elektrofahrzeuge für die Stadt ab 2020 wirtschaftlicher sein können, als konventionelle Verbrennungsmotorfahrzeuge. Plug-In Hybridfahrzeuge werden voraussichtlich ab 2025, batterieelektrische Fahrzeuge mit längerer Reichweite sogar erst ab 2030, wirtschaftlicher sein. Da die angestellten Betrachtungen aus dem Jahr 2009 stammen und einige Größen, wie etwa der Benzin- und Dieselpreis, bereits heute stark von den Annahmen abweichen, ist zu erwarten, dass die Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen schon früher gegeben sein wird. Umfragen zeigen, dass besonders bei jungen potenziellen Nutzern die Bereitschaft für die Anschaffung von Elektrofahrzeugen sehr groß ist. Dabei sind jedoch über 80 % der befragten Autofahrer der Meinung, dass die Vorteile der Elektromobilität einen höheren Preis nicht rechtfertigen (TÜV RHEINLAND, 2010). Dies unterstreicht die Signifikanz einer besseren Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen. Für die Nutzer selbst liegt der Grund für eine mögliche Anschaffung zumeist im Bestreben sich öko-

logischer und wirtschaftlicher mit dem Auto fortzubewegen. Dem stehen bei ablehnenden Autofahrern Befürchtungen entgegen, dass die Technik noch nicht ausgereift und die Reichweite zu kurz sei.

Besonders wichtig für die Nutzerakzeptanz sind daher die Reduktion der Anschaffungskosten und der Aufbau einer verlässlichen Ladeinfrastruktur. Auch die Weiterentwicklung der Batterietechnologie ist zwingend notwendig, um größere Reichweiten auch ohne zusätzlichen Verbrennungsmotor zu ermöglichen. In Bezug auf die Ladeinfrastruktur müssen zudem nutzerfreundliche Geschäftsmodelle entwickelt werden, um die Adaption der Elektromobilität zu begünstigen. Firmen wie Better Place, die Coulomb Group, aber auch RWE haben Konzepte entwickelt und erproben diese. Letztlich muss jedoch eine einheitliche und dem Nutzer verständliche Infrastruktur bereit stehen, um Ressentiments abzubauen. Konzepte wie *Vehicle-to-Grid*, bei dem Batterien von ladenden Elektrofahrzeugen als kurzfristige Puffer für Energieversorger zur Verfügung stehen, scheinen in Bezug auf die Nutzerakzeptanz fraglich.

Besitzer von Fahrzeugen der oberen Mittel- und der Oberklasse zeigen eine hohe Bereitschaft für die Anschaffung von Elektrofahrzeugen als Zweitwagen (TÜV SÜD, 2010). Diese finanzstarke Käuferschicht ist in der Lage, bei der Kaufentscheidung von einer rein ökonomischen Überlegung abzuweichen und kann somit für eine Steigerung der Absatzzahlen sorgen. Auch ist es ihnen voraussichtlich finanziell möglich einen teureren Plug-In-Hybriden als Erstwagen anzuschaffen. Sie können somit als „First Mover“ den Markteintritt von Elektrofahrzeugen in großem Umfang unterstützen; die Stückzahlen könnten steigen und die Produktionskosten sinken. Problematisch ist jedoch, dass diese Käuferschicht aufgrund ihrer Altersstruktur der Elektromobilität ablehnend gegenüber steht (CARLSON FUND, 2010).

Die Informationen zur Technologieentwicklung, zu Fahrzeugeigenschaften, zu Infrastruktur und staatlichen Kaufhilfen sowie zur Nutzerakzeptanz zeigen, dass eine Vorhersage des Marktvolumens von Elektrofahrzeugen zu diesem Zeitpunkt schwer möglich ist. Es haben sich drei potenzielle Entwicklungsszenarien herausgestellt, die im folgenden Abschnitt aufgezeigt werden.

4.4 Szenariodarstellung

Die Kostenentwicklung ist ein Feld mit vielen Unbekannten: Steigen die Kraftstoffpreise deutlich, gelingt in den Speichertechnologien ein entscheidender Durchbruch oder wird der Systemwechsel massiv subventioniert, kann sich die Kostensituation sehr schnell ändern. Nach günstigen Prognosen könnte die Massenfertigung in der Batterieherstellung zu deutlichen Kosten- und Preissenkungen führen, die das Elektrofahrzeug ab etwa 2015 für Pendler auch ökonomisch interessant machen – besonders dann, wenn dies mit staatlichen Subventionen unterstützt wird. Ungünstigeren Prognosen zufolge könnte das Elektrofahrzeug aber auch 2020 noch 7.000 bis 10.000 Euro teurer bleiben als ein konventionelles Fahrzeug. Nicht nur der Markt und staatliche Subventionen, sondern auch die Vorgaben zur Emissionssenkung sind wichtige Faktoren für die Marktdurchdringung und Kostenentwicklung. Die Investitionen der Automobilindustrie in alternative Antriebe wie Hybrid- oder Elektroantrieb

belaufen sich auf geschätzte 50 Milliarden Euro. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Chancen und das Potenzial dieser Antriebe genutzt werden sollten.

Die Grundlage für die Abschätzung der Auswirkungen auf die menschliche Arbeit bilden Marktentwicklungs-Szenarien, die die Fortschritte in der Fahrzeugentwicklung und die Nutzernachfrage definieren. Für dieses Gutachten wurden auf Grundlage der Literaturrecherche drei Marktentwicklungs-Szenarien erarbeitet. Anhand dieser Szenarien kann die Ermittlung der jeweiligen Auswirkungsgrade im Abschnitt 5 erfolgen. In Tab. 4.4 werden die Ausprägungen der Einflussfaktoren in den drei als realistisch einzustufenden Szenarien dargestellt.

Tab. 4.4 Marktentwicklungs-Szenarien von Elektrofahrzeugen

Szenario 1 pessimistisch zu bewertende Entwicklung	Szenario 2 neutral zu bewertende Entwicklung	Szenario 3 optimistisch zu bewertende Entwicklung
verzögerte Markteinführung serienreifer Elektrofahrzeuge	geplante Markteinführung serienreifer Elektrofahrzeuge erfolgt	schnellere Markteinführung serienreifer Elektrofahrzeuge
Batteriepreise sinken nur langsam	Batteriepreise sinken schneller durch Serienanläufe	Batteriepreise sinken erheblich
die Alltagstauglichkeit ist weiterhin eingeschränkt	verbesserte Alltagstauglichkeit durch kleine Forschungserfolge	gute Alltagstauglichkeit
die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen ist verschwindend gering	die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen steigt gleichmäßig	die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen steigt sprunghaft
der Ölpreis bleibt konstant	der Ölpreis steigt leicht	der Ölpreis steigt stark
die Politik wird auch kurzfristig keine Kaufanreize bewilligen – investiert mittelfristig weiter in die Forschung	die Politik wird auch kurzfristig keine Kaufanreize bewilligen – investiert mittelfristig weiter in die Forschung	die Politik entscheidet zeitnah, zusätzlich Kaufanreize zu geben
Marktvolumen Szenario 1: 2020 weniger als 1 Mill. in Deutschland zugelassenen Elektrofahrzeuge	Marktvolumen Szenario 2: 2020 1 Mill. in Deutschland zugelassenen Elektrofahrzeuge	Marktvolumen Szenario 3: 2020 deutlich mehr als 1 Mill. in Deutschland zugelassenen Elektrofahrzeuge

Mit Hilfe dieser drei Szenarien und gezielten Experteninterviews kann der Grad der Auswirkungen der Elektromobilität auf die menschliche Arbeit abgeschätzt werden.

Bei einer Betrachtung der Einführung von Mobilfunk und Computertechnologie hat sich gezeigt, dass neue Technologien einen langen Zeitraum bis zur Marktreife und Marktdurchdringung benötigen. So hat es beispielsweise über 30 Jahre gedauert, bis sich die Mobilfunktechnik aus den ersten Entwicklungsphasen in eine wirtschaftliche Technologie gewandelt hat. Noch heute stellt der Mobilfunk in weniger technologisch entwickelten Ländern eine Technologie der Oberschicht dar. Aber auch in hochindustrialisierten Ländern gibt es nach wie vor Probleme bei der Adaption durch ältere Menschen, die Vorbehalte gegenüber dieser Technologie haben. Analoge Feststellungen lassen sich ebenfalls für die Computertechnologie treffen.

Für die Szenariodarstellung bedeutet dies, dass die ersten zwei Szenarien ungleich wahrscheinlicher sind als das Dritte. Dabei spielt sowohl die Marktreife der Produkte,

als auch persönliche Einstellungen potenzieller Nutzer eine Rolle. Hinzu kommt der starke Einfluss der Mineralöl- und Automobilkonzerne. Da Strom nicht nur aus Mineralöl erzeugt werden kann, ist überaus fraglich, wie sehr die Mineralölkonzerne tatsächlich den Wechsel zur Elektromobilität unterstützen oder ob sie diesen gar behindern. Auch auf Seiten der Automobilkonzerne ist zu erkennen, dass der angestrebte Wechsel für sie nicht uneingeschränkt positiv ist. Sie besitzen bislang wenig Know-how im Bereich der Antriebs- und Speichertechnik, weswegen sie nicht nur auf Kooperationen angewiesen sind, sondern sich auch ihr Wertschöpfungsanteil weiter verringert. Effekte des internen Wettbewerbs bei Automobilbauern könnten zudem in der Zukunft negative Auswirkungen auf den Systemwandel haben.

5 Experteninterviews

Das vorliegende Gutachten stellt einen ersten Schritt zur Abschätzung der Auswirkungen der Elektromobilität auf die menschliche Arbeit dar. Eine realistische Abschätzung kann erst erfolgen, wenn die heute und in Zukunft betroffenen Mitarbeiter über ihre Erfahrungen berichten können. Wie bereits in Abschnitt 4.1 erwähnt, wurden diese Befragungen auf Erfahrungen mit Fahrzeugen mit reinem Elektroantrieb beschränkt, da in diesem Produktbereich die größten Auswirkungen zu erwarten sind.





Im Folgenden soll die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Experteninterviews beschrieben werden.

Vorbereitung der Experteninterviews

In Abstimmung mit der Auftraggeberin dieses Gutachtens wurden vier repräsentative Untersuchungsbereiche des Produktlebenszyklus eines Elektrofahrzeuges ausgewählt. Die Untersuchungsbereiche, in denen geeignete Experten befragt wurden, sind Zulieferer, Automobilhersteller, Werkstätten/ Service und Verwertung. Ein Interviewleitfaden (siehe Anhang 1) wurde erarbeitet, mit dessen Hilfe in allen vier Bereichen die Auswirkungen der Elektromobilität auf die menschliche Arbeit ermittelt werden können.

Zuvor war es erforderlich die relevanten Arbeitsaufgaben am Elektrofahrzeug in den einzelnen Bereichen abzuleiten. Dies erfolgte auf Grundlage der recherchierten Dokumente und bereits vorhandener Erfahrungen an der Professur Arbeitswissenschaft. Tab. 5.1 veranschaulicht, welche Aufgaben am Elektrofahrzeug in den zu untersuchenden Bereichen des Produktlebenszyklus ausgeführt werden. Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.

Tab. 5.1 Übersicht über die Aufgaben der vier ausgewählten Bereiche

Zulieferer	Automobilhersteller	Werkstätten/Service	Verwertung
			
<ul style="list-style-type: none"> - Fertigung der Batteriezellen - Fertigung des Antriebsstranges - Fertigung der Hilfsaggregate - Fertigung der Elektromotoren - Fertigung von Hochvolt-Bordnetzen - ... 	<ul style="list-style-type: none"> - Fertigung der Hochvoltbatterien - Einbau der Hochvoltbatterien - Einbau der Zuliefererkomponenten - Karosserieleichtbau - Zusammenbau des Gesamtfahrzeuges - Laden der Hochvoltbatterie - ... 	Reparatur/Service/ Wartung: <ul style="list-style-type: none"> - am Elektromotor - an der Hochvoltbatterie - am Antriebsstrang - an den Hilfsaggregaten - Laden der Hochvoltbatterie - ... 	Autoverwertung: <ul style="list-style-type: none"> - Ausbau aller Komponenten - Entladen der Hochvoltbatterie - ... Recycling: <ul style="list-style-type: none"> - Zerlegung der Komponenten - Verwertung der Materialien - ...

Auf dieser Grundlage konnten Fragen für den Interviewleitfaden formuliert werden, die alle Auswirkungen im Bezug auf die zu erwartenden Aufgaben umfassen. Der Leitfaden wurde in sechs Abschnitte eingeteilt, um die arbeitswissenschaftlich relevanten Themen voneinander zu trennen. Zunächst werden allgemeine Fragen zum entsprechenden Bereich formuliert. Der zweite Abschnitt beinhaltet Fragen zur Gefährdungssituation, der Dritte zu belastungsrelevanten Aspekten von Arbeitsinhalt und Arbeitsausführung und der Vierte zu qualifikatorischen Anforderungen. Abschließend wurden Fragen zur Erfassung von bereits durchgeführten Gestaltungsmaßnahmen in Reaktion auf die Einführung der Elektromobilität formuliert.

Mit der Auftraggeberin wurde vereinbart, in jedem der ausgewählten Bereiche des Produktlebenszyklus eine repräsentative Anzahl von Experten zu befragen. Wie Tab. 5.2 zu entnehmen ist, wird das Hauptaugenmerk auf den Bereich „Werkstätten/Service“ gelegt. In diesem Bereich ist aufgrund der Aufgabenvielfalt und des geringen Automatisierungsgrades mit den größten Auswirkungen durch die veränderten Arbeitsinhalte zu rechnen.

Tab. 5.2 Anzahl der Experteninterviews in den jeweiligen Untersuchungsbereichen

Zulieferer	Automobilhersteller	Werkstätten/Service	Verwertung
1	1	65 (34)	7

Zunächst wurde für jeden Bereich ein geeigneter Ansprechpartner ausfindig gemacht. Für den Bereich der Zulieferer konnte bereits im Vorfeld des Gutachtens ein im Umgang mit Lithium-Ionen-Zellen erfahrenes Unternehmen als Kooperationspartner gewonnen werden. Durch gemeinsame Forschungsaktivitäten der Professur Arbeitswissenschaft mit einem großen Automobilhersteller war es möglich, auch in diesem Bereich Experteninterviews durchzuführen. Im Bereich „Werkstätten/Service“ wurden aktuelle Meldungen aus den Medien über bereits gestartete Elektro-Flottenversuche (siehe Anhang 2) als Grundlage verwendet. Daraus ergaben sich potenzielle Städte, in denen Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen wahrscheinlich sind.

Tab. 5.3 Potenzielle Städte für Experteninterviews im Bereich Werkstätten/Service

Hersteller	Antrieb	Stadt
Audi	Elektro	München
Ford	Elektro	beliebig
Honda	Hybrid	beliebig
Mercedes	Elektro	Ulm, Hamburg
Mercedes	Elektro	Stuttgart, Berlin
Mini	Elektro	Berlin, München
Tazzari ZERO	Elektro	in 35 Städten (Smiles-Center)
Toyota	Hybrid	beliebig
VW	Elektro	Berlin, Hannover, Wolfsburg

In den genannten Städten (Tab. 5.3) wurden die Experten bei den jeweiligen Händlern kontaktiert und mit dem Interview-Leitfaden befragt. Potenzielle Interviewpartner im Verwertungsbereich wurden anhand aktueller Meldungen zur Verwertung von Lithium-Ionen-Batterien recherchiert.

Durchführung der Experteninterviews

In den vier Bereichen wurden die strukturierten Experteninterviews in unterschiedlicher Form durchgeführt. Beim Zulieferer wurde ein halbstandardisiertes Interview mit dem Geschäftsführer des Unternehmens geführt; beim Automobilhersteller wurde mit Experten im Produktionsbereich vor Ort die Befragung vorgenommen und durch eigene Beobachtungen ergänzt. Im Bereich „Werkstätten/Service“ wurden die Fragen dem Interviewpartner teilweise vor Ort und größtenteils telefonisch gestellt. Bei den Verwertungsunternehmen erfolgten die Interviews ebenfalls telefonisch.

Die im Abschnitt 4.4 formulierten Szenarien wurden den Interviewpartnern erläutert und nach einer Ist-Darstellung wurde eine Bewertung in den drei Szenarien vorgenommen. Die Antworten zu den Auswirkungen wurden vom Interviewpartner auf einer Skala von 0 bis 10 abgeschätzt. Null bedeutet „keine Auswirkung“ und bei „zehn“ werden tiefgreifende Auswirkungen erwartet. Vielen Experten bereitete es zum Zeitpunkt des Interviews Mühe, für das optimistische und pessimistische Marktentwicklungs-Szenario eine Abstufung der erwarteten Auswirkungen vorzunehmen.

Auswertung der Experteninterviews

Die Auswertung der Expertenantworten wird in unterschiedlicher Form durchgeführt. Für die erfassten Bereiche des Produktlebenszyklus erfolgt jeweils zunächst eine allgemeine Auseinandersetzung mit der Elektromobilität. Die Marktentwicklungsszenarien 1 und 3 werden für jeden Untersuchungsbereich aufgrund der schwierigen Abschätzung lediglich schriftlich erläutert. Für die neutral zu bewertende Entwicklung (Szenario 2) werden die zusammengefassten Expertenantworten in den Abschnitten 5.1 bis 5.4 grafisch ausgewertet. Für den Bereich „Werkstatt/Service“ werden die Auswirkungsarten einzeln mit dem abgeschätzten Auswirkungsgrad der 34 Experten im Anhang 3 gesondert dargestellt. Auf diese Weise können die Antwortschwankungen der einzelnen Experten aufgezeigt werden.

5.1 Zulieferer

Allgemeine Auseinandersetzung

Im Verlauf der letzten Jahrzehnte war der bestimmende Trend in der Automobilwirtschaft die Verringerung der Wertschöpfung bei den Original Equipment Manufacturers (OEMs). Diese Konzentration auf wenige Kernkompetenzen, wie Entwicklung, Karosseriebau, Lackierung, Motorenbau und Montage, hat die Entstehung einer komplexen Zuliefererstruktur bewirkt. Der Systemwandel hin zur Elektromobilität bedeutet für Zulieferer, die Komponenten mit direktem (z. B. Getriebezulieferer) oder auch indirektem Bezug zum Antriebsstrang (z. B. Klimaanlagezulieferer) produzieren, große Änderungen. Andere Zulieferer, wie beispielsweise für Türsysteme, werden von der Einführung der Elektromobilität weitgehend unbeeinflusst bleiben.

Die größten Änderungen für Arbeitsumwelt und Arbeitsbedingungen ergeben sich aus den technischen Veränderungen am Fahrzeug. Dabei spielt die Gefahr durch den elektrischen Strom lediglich im Bereich der Batteriezellenproduktion eine signifikante Rolle. Dort besteht zudem die Gefahr chemischer und thermischer Reaktionen beschädigter Zellen. Dieses potenzielle Risiko macht es in der Zellproduktion notwendig, fundierte Qualifikationsmaßnahmen zu dessen Minimierung durchzuführen. Da die Zellenproduktion weitgehend automatisiert ist, liegen die Hauptaufgaben unmittelbar betroffener Mitarbeiter vor allem im Bereich der Produktionslogistik und der Prozessüberwachung. Aufgrund der hohen Reinheitsanforderungen müssen zudem Produktionsbedingungen geschaffen werden, die es für die Mitarbeiter notwendig machen, spezielle Schutzausrüstung zu tragen. Folglich sind die größten Belastungen des Mitarbeiters in diesem Bereich psychischer Natur, wobei jedoch auch Gefahren chemischer und thermischer Art im Umgang mit Rohstoffen und fertigen Zellen existieren.

Elektromotoren werden bereits heute in großer Stückzahl und in diversen Größen für den Einsatz in unterschiedlichen technischen Einrichtungen produziert. Entsprechend bedeutet der Wechsel zur Elektromobilität eher die Verlagerung von Produktionskapazitäten weg von Zulieferern der mechanischen Fertigung, hin zu Zulieferern der elektrotechnischen Fertigung. Durch den hohen Automatisierungsgrad in der elektrotechnischen Fertigung ist mit einer – im Vergleich zur mechanischen Fertigung – geringeren physischen Arbeitsschwere zu rechnen. Die Aufgaben der Mitarbeiter werden sich vor allem auf Kontroll- und Endmontagetätigkeiten beschränken, da einzelne Teilkomponenten weitgehend automatisiert gefertigt werden. Der Einsatz eigenständiger Antriebe für Hilfsaggregate (z. B. Klimakompressor) trägt dazu bei, die Anzahl mechanischer Verbindungen zwischen einzelnen Fahrzeugkomponenten zu verringern und Übertragungsgetriebe zu vermeiden. In der Fertigung bedeutet dies eine zusätzliche Entlastung der Arbeitskräfte.

Im Zusammenhang mit Elektrofahrzeugen wird immer wieder der Nabenantrieb oder auch der radnahe Antrieb genannt. Diese Antriebskonzepte verlagern den eigentlichen elektrischen Motor direkt an die Räder, so dass auf Getriebe weitgehend oder gänzlich verzichtet werden kann. Der Wegfall von Getrieben im Elektroauto bedeutet, dass Arbeitsplätze bei Getriebelieferanten in andere Wirtschaftsbereiche, wie der elektrotechnischen Industrie, verlagert werden können. Arbeitspersonen können somit in anderen Arbeitssystemen eingesetzt werden, die weniger auf die kleingliedrigen Prozesse der Getriebemontage ausgerichtet sind. Dies macht natürlich Qualifikationsmaßnahmen und möglicherweise einen Arbeitgeberwechsel notwendig, was von den Mitarbeitern als zusätzlicher Stress empfunden werden kann.

Der Verzicht auf einen Verbrennungsmotor bedeutet zudem, dass Zulieferteile für diesen nicht weiter benötigt werden. Folglich wird auch die Zahl der Arbeitnehmer im Bereich der Produktion von Verbrennungsmotorteilen (z. B. Zündkerzen, Einspritzdüsen etc.) geringer werden. Analog der Arbeitsplätze in der Fertigung und Montage von Getrieben und Hilfsaggregaten, wird auch hier eine Arbeitsplatzverlagerung zu erwarten sein.

Experteninterviews im Bereich Zulieferer

Das größte Gefahrenpotenzial geht derzeit von Hochvolt-Batterien aus. Somit kann der Kooperationspartner (Produktion von Lithium-Ionen-Zellen) als repräsentativ für den Bereich der Zulieferer angesehen werden. Der Auswirkungsgrad auf die menschliche Arbeit wurde im Experteninterview aufgenommen und wird im Szenario 2 grafisch dargestellt. Die Auswirkungen in den Szenarien 1 und 3 werden in Anlehnung an die Aussagen im Interview schriftlich erläutert.

Szenario 1 – pessimistisch zu bewertende Entwicklung

Die geringen Absatzzahlen des Szenario 1 sorgen in der Zulieferkette für eher unwesentliche Veränderungen. Zwar werden in diversen Zulieferunternehmen Komponenten für Elektrofahrzeuge produziert, jedoch sind die Produktionsanlagen entweder weitgehend unverändert oder es wurden nur sehr kleine Linien speziell für Elektrofahrzeugkomponenten aufgebaut. Nur wenige Mitarbeiter sind tatsächlich in der Produktion dieser Komponenten beschäftigt und eine Verlagerung von Arbeitsplätzen ist noch nicht erkennbar. Qualifikationsmaßnahmen werden nur für wenige Mitarbeiter auf freiwilliger Basis angeboten und die Vergrößerung des Produktionssortiments bei den Zulieferern ist eher unwesentlich. Auch die Produktion von Elektromotoren und Batteriezellen bleibt weitgehend unbeeinflusst von der Elektromobilität.

Folglich sind in diesem Szenario für die meisten Mitarbeiter kaum Veränderungen zu erkennen. Durch den Fortbestand herkömmlicher Komponenten ergeben sich keine signifikanten Änderungen in der Art der auszuführenden Arbeiten und auch von einer zusätzlichen kognitiven Belastung ist kaum auszugehen.

Szenario 2 – neutral zu bewertende Entwicklung

Im Szenario 2 (neutral zu bewertende Entwicklung) ist nicht zu erwarten, dass es zu einem großen Umbruch in der Zulieferkette kommen wird. Die größten Änderungen sind bei den Systemlieferanten („first tier supplier“) zu erwarten, wobei eine Erweiterung des aktuellen Sortiments zu erwarten ist. Durch die parallele Produktion von Fahrzeugen beider Antriebskonzepte wird es unter Umständen zu einer größeren kognitiven Belastung von Arbeitnehmern bei Zulieferern kommen. Der Grund hierfür liegt in der gleichzeitigen Produktion von Komponenten und Teilen für konventionelle, als auch elektrisch betriebene Fahrzeuge.

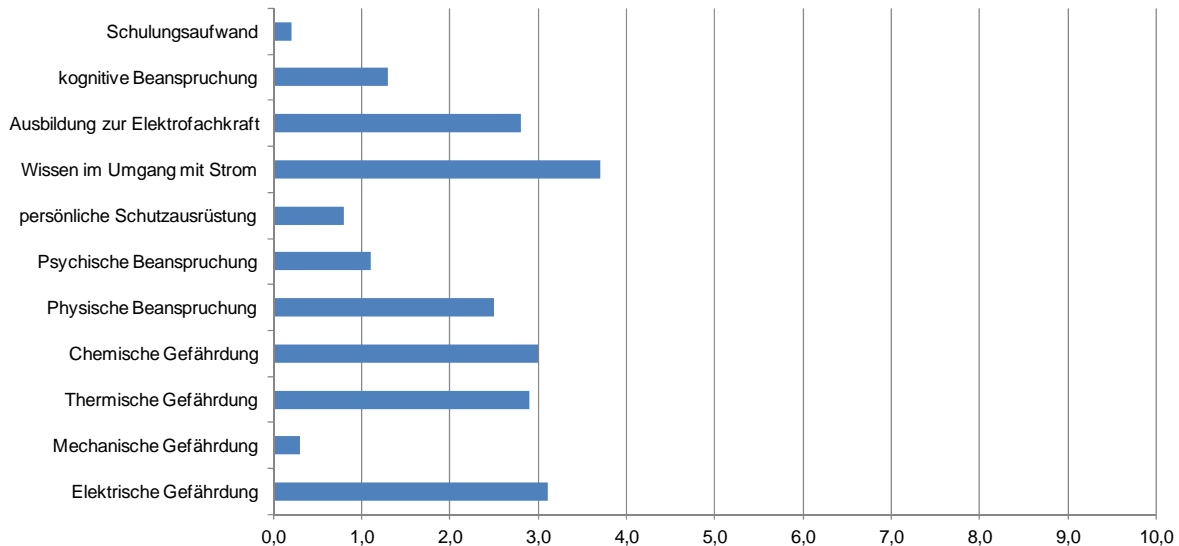


Abb. 5.1 Auswirkungsgrad beim Zulieferer

Von einer Verlagerung von Arbeitsplätzen ist in diesem Stadium noch nicht auszugehen. Für die Absatzmengen in diesem Szenario scheint es wahrscheinlich, dass keine übermäßige Steigerung der Lithium-Zellen-Produktion erforderlich wird. Folglich können die bisherigen Produzenten durch ohnehin zu realisierende Produktionskapazitätssteigerungen den zusätzlichen Bedarf abdecken. Die Zahl von Arbeitnehmern, die in diesem Bereich tatsächlich in Folge der Elektromobilität eingestellt werden, ist von geringer Signifikanz.

Art und Umfang der tatsächlichen Veränderungen sind in großem Maße vom Produktsortiment abhängig, welches die einzelnen Zulieferer anbieten. Abb. 5.1 versucht daher einen Querschnitt der zu erwartender Veränderungen über alle Zulieferer zu geben.

Szenario 3 – optimistisch zu bewertende Entwicklung

Entgegen den Szenarien 1 und 2 ist in diesem Szenario ein deutlicher Umbruch in der Zuliefererkette zu erkennen. Durch die große Zahl von Neuzulassungen elektrisch betriebener Fahrzeuge werden vermehrt Komponenten für Elektrofahrzeuge von den Zulieferern abgerufen. Die Produktionskapazitäten verlagern sich in spürbarem Maße, neue Produktionsanlagen müssen in Betrieb genommen werden und eine Vielzahl von Mitarbeitern müssen für die neuen Aufgaben um- bzw. neu geschult werden. Im Bereich der Batteriezellproduktion ist ein sprunghafter Anstieg des Produktionsvolumens zu erkennen, so dass auch zunehmend neue Wettbewerber in den Markt eintreten. Diese müssen – ebenso wie etablierte Wettbewerber – schnell ihre Produktionskapazität steigern, wobei geeignetes Personal gefunden und qualifiziert werden muss.

Die rasante Veränderung im Zulieferersector bewirkt, neben der Verschiebung von eher physischer zu eher psychischer Belastung, auch einen großen Veränderungsdruck für die Mitarbeiter; sie müssen Qualifikationen für neue Produktionsanlagen und -prozesse absolvieren. Die Verschiebung von Produktionskapazitäten in andere Industriesektoren sorgt zudem für Angst um den eigenen Arbeitsplatz. Mitarbeiter

von Systemlieferanten, die sich durch geschickte Erweiterung ihres Produktportfolios an die Veränderungen anpassen können, sehen sich hingegen mit größeren kognitiven Beanspruchungen konfrontiert. Sie müssen neben Komponenten für konventionelle Fahrzeuge auch Komponenten für eine immer breiter werdende Palette von Elektrofahrzeugen produzieren, was im Arbeitsalltag für zunehmende Komplexität sorgt.

5.2 Automobilhersteller

Allgemeine Auseinandersetzung

Die Automobilindustrie befindet sich zu Beginn des Zeitalters der Elektromobilität im Spannungsfeld zwischen unklarer Nachfragesituation (Fahrzeugkosten und Kundenakzeptanz) und schwieriger Angebotslage (Batteriekosten und -leistung, Infrastrukturerfordernisse).

Die Unternehmen der Automobilindustrie stehen nicht nur in der Entwicklung gewichtsärmerer Fahrzeuge und neuer Antriebsarten vor einer Vielzahl neuer Herausforderungen, sondern auch in der Planung der Produktions- und Logistikprozesse für Elektrofahrzeuge. Gravierende Veränderungen entstehen dabei durch das permanente Vorliegen elektrischer Energie im Hochvolt-Batteriesystem, was bei der Verwendung von Lithium-Ionen-Zellen funktionsbedingt nicht vermieden werden kann. Einige Automobilhersteller verfolgen das Ziel, ihre Kernkompetenzen neu auszurichten, um den eventuellen Verlust von Wertschöpfung an die Zulieferer zu verringern. Somit werden zukünftig Hochvoltbatterien bei einigen deutschen OEM in Eigenherstellung gefertigt. Da die vollautomatische Batteriemontage in absehbarer Zeit nicht realisiert werden kann, liegt für die Arbeitsplätze im Montageprozess eine erhöhte Gefährdung durch elektrische Energie vor. Darüber hinaus dürfen auch die zusätzlich aus den Batteriesystemeigenschaften resultierenden chemischen und mechanischen Gefährdungen bei der umfassenden Betrachtung dieses Arbeitssystems nicht vernachlässigt werden.

Die Gefährdungen bei der Batteriemontage ergeben sich zum einen aus den besonderen Eigenschaften des Arbeitsgegenstandes, zum anderen handelt es sich um typische Gefährdungen, die im Zusammenhang mit Montagearbeiten auftreten können. Der überwiegende Teil der batteriebedingten Gefährdungen tritt ausschließlich infolge eines Störfalles auf. Die Gefährdungsbeurteilung der HV-Batteriemontage führte zu den in Tab. 5.4 dargestellten Ergebnissen.

Tab. 5.4 Gefährdungen bei der HV-Batteriemontage

Gefährdungen	Ursachen
Elektrische Gefährdung - Gefährliche Körperdurchströmung bei $U \geq 60$ V	Körperkontakt mit unter Spannung stehenden Teilen
Elektrische Gefährdung - Störlichtbogen	Externer Kurzschluss
Mechanische Gefährdung - Sekundärufälle bei elektrischer Gefährdung (Stürze, Stolpern etc.)	Muskelverkrampfung, Erschrecken etc. bei Körperkontakt mit unter Spannung stehenden teilen
Mechanische Gefährdung - Herabfallende Teile (Zellen, Zellverbund, Batteriesystem etc.)	Unsachgemäßer Umgang mit Handlings- und Transportgeräten Inkorrektes Platzieren
Mechanische Gefährdung - Schnitt- und Quetschverletzungen	Einklemmen beim Stapeln der Batterie-Floors Kontakt mit bewegten Maschinenteilen (Kran, Schraubanlage etc.)
Gefahrstoffe - Austritt/Verdampfen von Elektrolyt und Leitsalz, erhöhte CO-, H ₂ - und Fluorwasserstoff (HF)-Konzentration	Interner Kurzschluss (Überladen oder mechanische Beschädigung) oder Erwärmung der Zellen durch externe Quellen
Brand- und Explosionsgefährdung	Austritt von Elektrolyt, Bildung brennbarer Substanzen
Thermische Gefährdung	starke Erwärmung der Kurzschlussbrücke

Neben den Haupttätigkeiten der Batteriemontage, die in Tab. 5.5 aufgeführt sind, können auch bei weiteren Arbeitsschritten Gefährdungen auftreten. Beispielsweise kann der regelmäßige Transport von schweren Teilen, wie der Bodenplatte, zur Schädigung der Wirbelsäule führen. Weiterhin sind einige Bauteile von unten an die Batterie zu schrauben, was aus ergonomischer Sicht zu einer kritischen Körperhaltung führen kann. Die Vielzahl von Verschraubungen fordert vom Arbeiter außerdem einseitige, sich wiederholende dynamische Muskelarbeit größeren Umfangs.

Tab. 5.5 Montageschritte für den Zusammenbau einer Hochvoltbatterie

Montageschritte
Lithium-Ionen-Zelle <ul style="list-style-type: none"> Spannungsprüfung der Zellen Verpressen und Verschrauben der einzelnen Zellen zu Zell-Stacks unterschiedlicher Größe (15 bis 55 Zellen)
Stack <ul style="list-style-type: none"> Zusammenführen der Stacks einer Ebene zu einem Floor (3 bis 5 Stacks je Floor) Elektrische Verschaltung der Zellen eines Stacks
Floor <ul style="list-style-type: none"> Stapeln und Verschrauben der Floors auf zwei bis vier Ebenen Elektrische Kontaktierung der Floors untereinander ($U > 60$ V)
Batteriesystem <ul style="list-style-type: none"> Anbau der Steuerungs- und Überwachungselektronik und der weiteren Peripherie zur Fertigstellung des Batteriesystems Aufsetzen der Batteriehaube

Durch solche neuartigen Bedingungen bei der Montage von HV-Batterien sind neben dem primär sicherzustellenden Schutz des Lebens und der Gesundheit auch weitere ergonomische Kriterien in den Gestaltungsprozess einzubeziehen. Ansatzpunkte für

ein sicheres und aus ergonomischer Sicht akzeptables Arbeiten bei elektrischer Gefährdung betreffen sowohl die Qualifikation der Mitarbeiter als auch die organisatorische Ausgestaltung der Arbeiten sowie die Verfügbarkeit geeigneter Körperschutzmittel. Allerdings kann ein Körperschutz durch falsche Auswahl und Verwendung auch mit einer zusätzlichen Belastung verbunden sein. Daher sind weitere Gefährdungen durch die persönliche Schutzausrüstung (insbesondere thermische und zum Teil biologische Gefährdungen sowie Gefährdungen durch physische und psychische Belastungen) nicht auszuschließen.

Experteninterviews im Bereich der Automobilhersteller (OEM)

Zur Erstellung des vorliegenden Gutachtens wurden Experteninterviews sowohl zur Batteriemontage als auch zur Fahrzeugmontage bei einem repräsentativen deutschen OEM durchgeführt. Es wurden zunächst Führungskräfte befragt, deren Verantwortungsbereich in der Planung von Produktions- und Logistikprozessen zur Fahrzeugmontage sowie in der Arbeitsgestaltung entsprechender Arbeitsplätze liegt. Obgleich derzeit ausschließlich Hybridfahrzeuge in Serienprozessen gefertigt werden, können die Befragungen nach Einschätzung der Experten als repräsentativ für die Fertigung von reinen Elektrofahrzeugen angesehen werden. Grundsätzlich wurde festgestellt, dass im Montageprozess das gesamte Batteriesystem durch eine entsprechende Sicherheitsvorrichtung spannungsfrei geschaltet wird. Das Risiko zur Gefährdung durch Stromschlag wurde hier als nahezu „null“ bewertet. Dennoch wurden sämtliche Montagearbeiter mit Hilfe neu konzipierter Schulungsprogramme für Arbeiten an elektrischen Anlagen unterwiesen. Als Arbeitsplätze mit erhöhtem Risiko durch Stromschläge wurden allerdings der Nacharbeitsbereich und die Prüfplätze eingestuft; an ihnen steht das Batteriesystem bereits unter Spannung. Arbeiten in diesen Bereichen ist nur ausgebildeten Elektrofachkräften gestattet, wodurch sich ein erhöhter Schulungsbedarf ergibt. Es wurde generell festgestellt, dass erhöhte Belastungen beim Verbau der Kabelstränge und beim Zusammenfügen von Steckverbindungen auftreten. Insbesondere durch das Festklipsen der Kabelstränge an die Karosserie treten erhöhte Belastungen im Hand-Arm-System auf.

Der Montageprozess zur Batterieherstellung befindet sich derzeit in der Vorserienphase. Die Beurteilung der Gefährdungs- und Belastungssituationen ist nur teilweise für die zukünftige Entwicklung repräsentativ, da der Automatisierungsgrad des Montageprozesses stark steigen wird.

Szenario 1 – pessimistisch zu bewertende Entwicklung

Im Szenario 1 wird davon ausgegangen, dass der Absatz von Elektrofahrzeugen stagniert bzw. nur leicht und unregelmäßig steigt. Dies stellt aus Sicht der Kapazitätsauslastung der Produktionsanlagen und Mitarbeiter kein Problem dar, da entsprechende Anlagen auf eine Mischfertigung (herkömmlicher Antrieb/Elektro- oder Hybridantrieb) ausgelegt werden. Hinsichtlich der Batterieherstellung ist davon auszugehen, dass diese bedarfsorientiert geplant wird und somit auf den Aufbau von Beständen, dies hätte bspw. andere Lagerkonzepte zur Folge, verzichtet wird.

Szenario 2 – neutral zu bewertende Entwicklung

Die Stückzahl von Elektrofahrzeugen als auch Hochvoltbatterien steigt gemäß Szenario 2 sukzessive leicht. Die zeitnahe Deckung des Schulungsbedarfes als auch die kontinuierliche Sensibilisierung der Mitarbeiter wird als unkritisch eingeschätzt. Da sich die Gefährdungssituationen gegenüber der Montage von Hybridfahrzeugen im Wesentlichen nicht ändern, wird der diesbezügliche Auswirkungsgrad als eher gering bewertet. In diesem Zusammenhang wird davon ausgegangen, dass der Reifegrad der Logistikkonzepte ebenfalls sukzessive steigt und somit keine signifikanten Auswirkungen, z. B. durch den Transport, die Lagerung und den Verbau der Hochvolt-Batterien zu erwarten sind. Aus den Expertenbefragungen zur Fahrzeug- als auch Batteriemontage sowie den Vor-Ort-Beobachtungen wurde der Auswirkungsgrad für den untersuchten Automobilhersteller gemäß Abbildung 5.2 eingeschätzt.

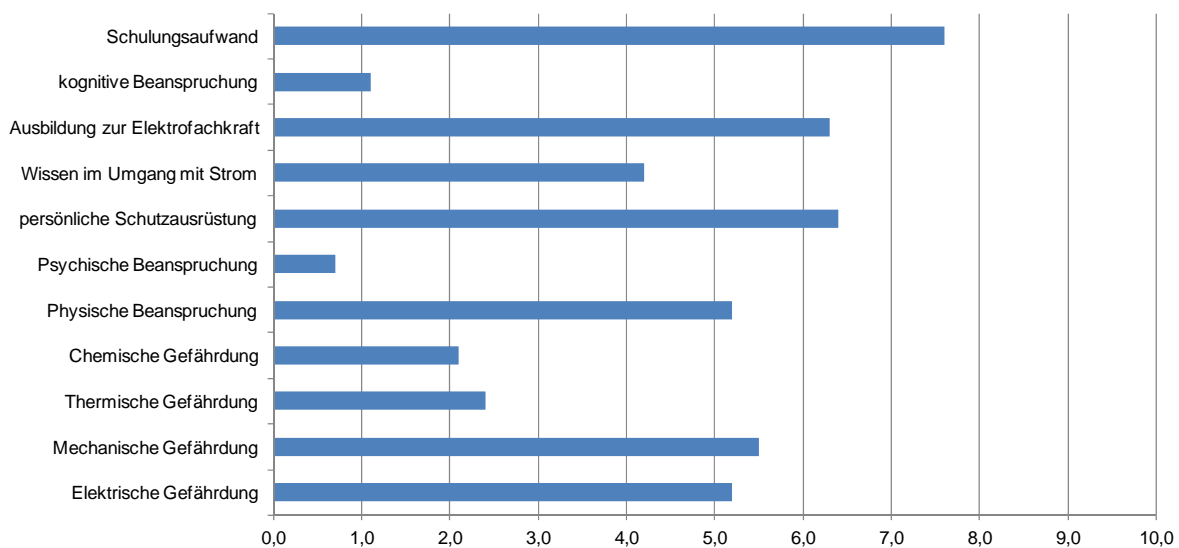


Abb. 5.2 Auswirkungsgrad beim Automobilhersteller

Tiefgreifende Auswirkungen werden derzeit im Schulungsaufwand wahrgenommen. Dies ist allerdings durch die einmalige Belastung als unkritisch zu betrachten. Weiterhin werden Belastungen durch persönliche Schutzausrüstungen festgestellt, die durch entsprechende Maßnahmen auf Dauer reduziert werden müssen.

Szenario 3 – optimistisch zu bewertende Entwicklung

Erst im Szenario 3 wird der sprunghafte Anstieg der Elektrofahrzeuge auf dem Markt dazu führen, dass insbesondere im Fahrzeugmontageprozess die Belastungen im Hand-Arm-System aufgrund des hohen Anteils manueller Tätigkeiten beim Verbau des Kabelstranges (Klipsen) sowie der Ausführung von Steckverbindungen zu hoher Belastung und Gesundheitsschäden führen können. Hinsichtlich der Gefährdungen durch Stromschlag ist in den Arbeitsbereichen der Nacharbeit und Prüfung davon auszugehen, dass das Risiko menschlichen Versagens bei der Beachtung von Sicherheitsregeln aufgrund erhöhter psychischer Belastungen steigt. In diesen Arbeitsbereichen kann nur noch durch Warnschilder am Fahrzeug auf den Spannungszustand des Batteriesystems hingewiesen werden.

Die sprunghafte Nachfrage nach Hochvoltbatterien würde aus jetziger Sicht ein großes Problem darstellen. Der Grund liegt insbesondere in dem hohen Anteil manueller Arbeit und der damit verbundenen Belastung für die Mitarbeiter. So müssten bspw. deutlich mehr Mitarbeiter, deutlich länger unter Vollschutz im Gefährdungsbereich die Montagetätigkeiten ausführen.

5.3 Werkstätten

Allgemeine Auseinandersetzung

Eine im Auftrag des TÜV Süd (Abb. 5.3) durchgeführte Umfrage in über 300 Kfz-Servicebetrieben im März 2010 liefert einen ersten Überblick über die Einstellung der Werkstätten zum Umgang mit Hybrid- und Elektrofahrzeugen. Da es bisher nur wenige Hybrid- bzw. Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen gibt, sind die praktischen Erfahrungen jedoch sehr gering. Aufgrund der fehlenden Praxis können viele das Risiko der Arbeit an Hochvoltkomponenten nicht genau einschätzen; dies zeigt eine Studie des TÜV Rheinland, ebenfalls aus dem Jahr 2010.

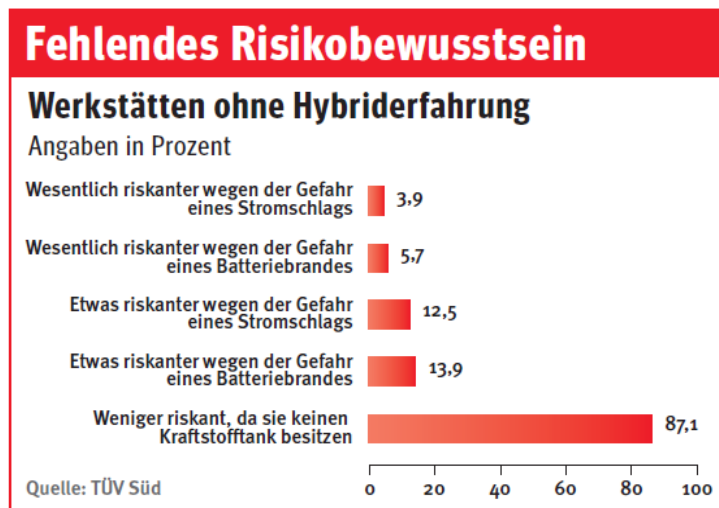


Abb. 5.3 Fehlendes Risikobewusstsein in Werkstätten (Quelle: TÜV Süd)

Seit der Durchführung der Studie haben viele Automobilhersteller Flottenversuche und Nutzerstudien gestartet, um die Elektromobilität in Deutschland voranzutreiben. Elektrofahrzeuge werden heute fast ausschließlich im Händlernetz der Hersteller gewartet und repariert; dort ist der Hersteller für die Schulung verantwortlich. Mit zunehmender Verbreitung und steigendem Alter dieser Fahrzeuge werden auch freie Werkstätten mit der Hochvolttechnik konfrontiert werden. Bei einigen Vertragshändlern stehen erste Elektrofahrzeuge im Verkaufsraum, aber Erfahrungen im Werkstatt- und Servicebereich sind bisher nur vereinzelt zu verzeichnen und beschränken sich in der Testphase bislang auf leichte Karosseriearbeiten; auch für diese Arbeiten muss der Mitarbeiter an einer Weiterbildung teilnehmen. (Aussage eines Experten: „Wir lassen an diesen Autos nur Mitarbeiter mit der entsprechenden Weiterbildung arbeiten. Selbst ein Mitarbeiter im Verkaufsraum hat bereits an einer Fortbildung teilgenommen.“)

Vor allem aber bei der Wartung und Reparatur eines Elektrofahrzeuges ist das Personal neuen Risiken ausgesetzt, wenngleich einige bisherige Gefährdungen entfallen. Der Umgang mit Hochvolt-Fahrzeugen erfordert stets hohe Konzentration und Wachsamkeit. Hinzu kommen die typischen körperlichen Belastungen bei der Arbeit im Bereich „Werkstatt/Service“ (u. a. Heben und Tragen von Lasten, z. B. Räder). Eines der zentralen Probleme bei der Markteinführung von Elektrofahrzeugen ist daher die Qualifizierung des entsprechenden Servicepersonals sowie die sicherheitsgerechte Gestaltung des Werkstattumfeldes (z. B. spezielle Elektrowerkzeuge, Brandschutz usw.). Eine Reparatur, die im Servicefall vom Fahrzeughalter selbst ausgeführt wird, bringt unkalkulierbare Risiken mit sich. Es kann im Einzelfall nicht davon ausgegangen werden, dass die Einhaltung notwendiger Sicherheitsvorkehrungen (z. B. Wartungsstecker gezogen, Zündung aus) Gefährdungen ausnahmslos vermeiden kann, da durch unsachgemäßen Service jederzeit Folgeschäden entstehen können.

Durch den Wegfall einer Vielzahl mechanischer Einrichtungen verringert sich die Anzahl der Verschleißteile in Elektrofahrzeugen. Folglich ist zu erwarten, dass Reparaturen in geringerer Häufigkeit notwendig sein werden. Außerdem besteht nicht mehr die Gefahr, dass Mitarbeiter verletzt werden, während sie die korrekte Funktion von Getrieben und anderen Mechaniken während des Betriebs im Fahrzeug kontrollieren: beispielsweise Quetschungen der Finger in der Kraftübertragung vom Motor zum Getriebe, die bei Nabenantrieben vollständig entfällt. Der Wegfall des Verbrennungsmotors wird zudem die Abgasanlage überflüssig machen. Zusammen mit dem Wegfall des Getriebes sinkt somit die Anzahl notwendiger Arbeiten am Unterboden von Fahrzeugen, was sich positiv auf die Arbeitsschwere auswirkt, da weniger Überkopfarbeiten auszuführen sind. Mit dem Wegfall von mechanischen Antriebselementen kann zudem auf die Verwendung und den Umgang mit Gefahrstoffen (Schmierstoffe) verzichtet werden. Der Wegfall des Kraftstofftanks wird besonders von den Werkstätten als positiv aufgefasst. Zusätzlich entfallen aber beispielsweise auch Ölwanne und eine Vielzahl geschmierter Teile am Antriebsstrang. Dies wird mit Blick auf gelegentlich auftretende Berufskrankheiten, die im Zusammenhang mit Schmiermitteln stehen, als eine positive Entwicklung gesehen. Zugleich steigt durch den Einsatz der großen HV-Batterien die chemische und thermische Gefahr am Elektrofahrzeug, insbesondere durch unsachgemäße Handhabung in Folge einer Beschädigung. Aber auch die Gefahr eines elektrischen Schlags ist sehr hoch, wenn das Wartungspersonal von Anweisungen und Sicherheitsbestimmungen abweicht.

Besonders bedenklich ist weiterhin die Arbeitsbelastung durch den Austausch von Komponenten, die ausschließlich in Elektrofahrzeugen Anwendung finden. So ist zu erwarten, dass beispielsweise Nabenantriebe grundsätzlich als Einheit gewechselt werden, was bei Verzicht auf entsprechende Handhabungsgeräte zu einer großen physischen Belastung der Mitarbeiter führen kann. Analog lässt sich dies auf die HV-Akkumulatoren übertragen, welche bei batterieelektrischen Fahrzeugen ein Gewicht von über 200 kg erreichen werden. Da aufgrund des Wegfalls anderer schwerer und sperriger Komponenten, z. B. Getriebe und Verbrennungsmotor, gleichzeitig eine Vereinfachung der Arbeit zu erwarten ist, lässt sich nicht verbindlich sagen, wie sehr sich die Arbeitsschwere verändern wird.

Experteninterviews im Bereich Werkstatt/Service

Für das vorliegende Gutachten wurden im Bereich „Werkstätten/Service“, wie bereits erwähnt, die aktuellen Meldungen (siehe Anhang 2) bereits begonnener Flottenversuche als Grundlage herangezogen. Daraus ergaben sich sieben potenzielle Städte, in denen Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen wahrscheinlich sind. Fahrzeugmarken, Antriebsarten und Einsatzorte der Fahrzeugflotten sind in Tab. 5.6 zusammengefasst.

Tab. 5.6 Potenzielle Städte für die Experteninterviews im Bereich Werkstatt/Service

Fahrzeug-Marken	Antrieb	Städte
Audi	Elektro	München
BMW	Elektro	Berlin, München
Ford	Elektro	beliebig
Honda	Hybrid	beliebig
Mercedes	Elektro	Berlin, Hamburg, Stuttgart, Ulm
Opel	Hybrid	beliebig
Tazzari ZERO	Elektro	in 35 Städten (Smiles-Center)
Toyota	Hybrid	beliebig
VW	Elektro	Berlin, Hannover, Wolfsburg

Bei Werkstätten mit Erfahrungen an Hybridfahrzeugen ist die Auswahl der Städte groß, da diese deutschlandweit vorhanden sind. In den potenziellen Städten für Erfahrungswerte im Umgang mit Elektrofahrzeugen wurden gezielt Werkstätten der jeweiligen Fahrzeug-Marken telefonisch kontaktiert. Bei 34 von 65 Telefon-Interviews, waren die Interviewpartner bereit, einen Großteil der Fragen des Interviewleitfadens (siehe Anhang 1) zu beantworten. Lediglich auf die Frage nach der Erfahrung im Allgemeinen („langjährig“, „mit“, „ohne“) antworteten alle. Da sich das Gutachten auf die Betrachtung ausschließlich elektrisch angetriebener Fahrzeuge beschränkt (siehe Abschnitt 4.1), sind Hybriderfahrungen in Abb. 5.4 ausgenommen; die Abbildung zeigt die Verteilung der Erfahrungen im Umgang mit Elektrofahrzeugen aller Interviewpartner (65) der jeweiligen Fahrzeug-Marken.

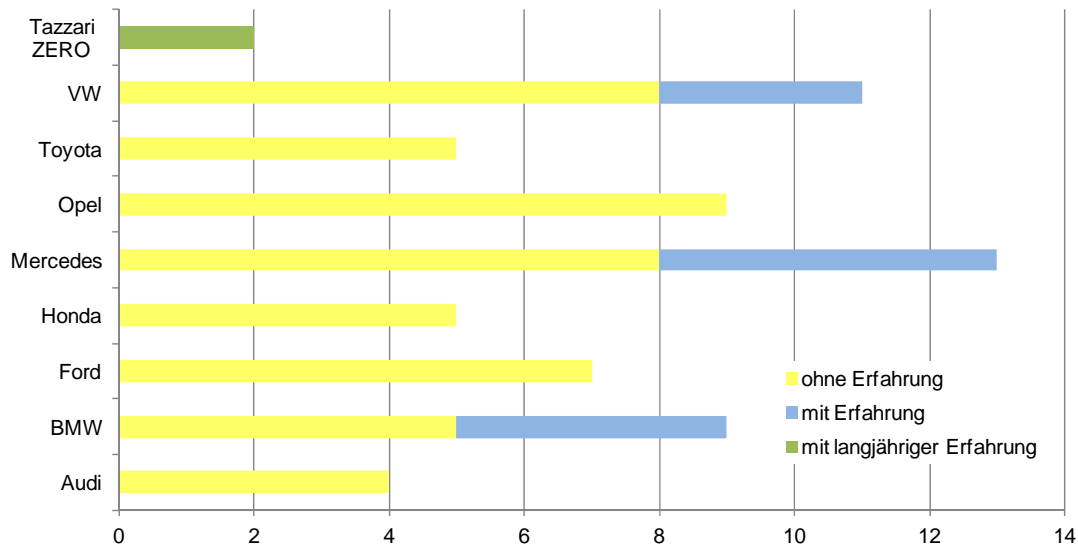


Abb. 5.4 Erfahrungen im Umgang mit Elektrofahrzeugen¹

Die Experteninterviews zeigen, dass in den Werkstätten zunehmend Qualifizierungen für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltssystemen (BGI/GUV-I 8686) durchgeführt werden. Diese Qualifizierung wird von verschiedenen Bildungsträgern angeboten, u. a. der Akademie des Deutschen Kraftfahrzeuggewerbes (TAK) und der TÜV Süd Akademie. Die erfolgreiche Teilnahme ist Grundvoraussetzung für das Werkstattpersonal, denn erst nach erfolgreichem Abschluss dürfen Arbeiten an Hochvoltkomponenten ausgeführt werden. In Vertragswerkstätten gibt der jeweilige Fahrzeughersteller ein bestimmtes Ausbildungsniveau vor, um die Qualität und Flexibilität der Werkstätten sicher zu stellen.

Die Auswirkungen auf die Tätigkeiten werden derzeit von den Experten mit Erfahrungen im Bereich „Werkstatt/Service“ als eher unbedeutend eingeschätzt: „Nach der Teilnahme an einer Schulung sind die Arbeiten an dem Elektrofahrzeug für den jeweiligen Mitarbeiter kein Problem!“. Laut Werkstätten ohne Erfahrung, ist das heutige Qualifikationsniveau nicht mehr ausreichend für den Umgang mit Elektrofahrzeugen; die Werkstätten mit Erfahrung können dies eher nicht bestätigen. Mehr als die Hälfte der befragten Werkstätten haben bereits mindestens eine Fachkraft für die Arbeit an Elektrofahrzeugen geschult, die anderen haben diesbezüglich noch keine Anstrengungen unternommen. Die Abschätzung des Auswirkungsgrades erfolgt grafisch im Szenario 2 (Abb. 4.1, Seite 50). Die Auswirkungen in den Szenarien 1 und 3 werden schriftlich erläutert.

Szenario 1 – pessimistisch zu bewertende Entwicklung

Im Gegensatz zum Szenario 2 wird im Szenario 1 eine noch kleinere Menge von Vertragswerkstätten von den Auswirkungen der Elektromobilität betroffen sein. Es ist wahrscheinlich, dass diese sich auf einige Ballungsgebiete konzentrieren, während Werkstätten in eher ländlichen Gebieten oder freie Werkstätten nicht in Kontakt mit Elektrofahrzeugen kommen werden. In diesem Szenario ist zudem noch deutlicher mit einem eingeschränkten Serviceumfang zu rechnen. So dürfen die Vertragswerk-

¹ Tazzari ZERO in 35 Smiles-Center in Deutschland: Hersteller Smiles AG ist die neue Firmierung der Citycom AG - 20-jährige Erfahrung mit Elektrofahrzeugen, deren Nutzen und ihren Anwendern.

stätten lediglich Komponenten wechseln, um die Fahrbereitschaft wieder herzustellen, bzw. nach erfolgter Unterweisung Karosserie- und Verschleißarbeiten durchführen. Die fehlerhaften oder beschädigten elektrischen Bauteile werden weiterhin vom Hersteller repariert. Der Gang zum Vertragspartner wird immer ein „sichereres“ Gefühl vermitteln.

Der Anteil betroffener Arbeitnehmer ist sehr gering und auch die Qualifikationsmaßnahmen werden von einem eher kleinen Personenkreis wahrgenommen. Mit einer zusätzlichen Komplexität ist nicht zu rechnen, da ohnehin nur sehr wenige Elektrofahrzeugmodelle auf dem Markt erhältlich sein werden, welche sich über die verschiedenen Automobilhersteller verteilen.

Szenario 2 – neutral zu bewertende Entwicklung

Da von einem progressiven Anstieg der Verkäufe von Elektrofahrzeugen auszugehen ist, werden im Szenario 2 die meisten Fahrzeuge im Jahr 2020 erst wenige Jahre zuvor gekauft worden sein und die meisten Fahrzeugbesitzer werden aufgrund der Garantiebestimmungen angehalten sein, sich in Servicefragen an Vertragswerkstätten zu wenden. Diese werden immer wieder mit Elektrofahrzeugen, aber auch weiterhin mit konventionellen Fahrzeugen konfrontiert werden. Sie müssen zwangsläufig geeignete Handlingsgeräte anschaffen und für Elektrofahrzeuge ausgerüstete Arbeitsplätze bereitstellen. Obwohl der Anteil der Elektrofahrzeuge für diese Werkstätten noch nicht bestimmend ist, besteht die Notwendigkeit, einen gewissen Mitarbeiterstamm für die neue Technik weiterzubilden.

In Abb. 5.5 ist der Auswirkungsgrad der jeweiligen Auswirkungsarten durch Experten ohne Erfahrungen im Umgang mit Reparaturen, Wartung und Service an Elektrofahrzeugen abgeschätzt.

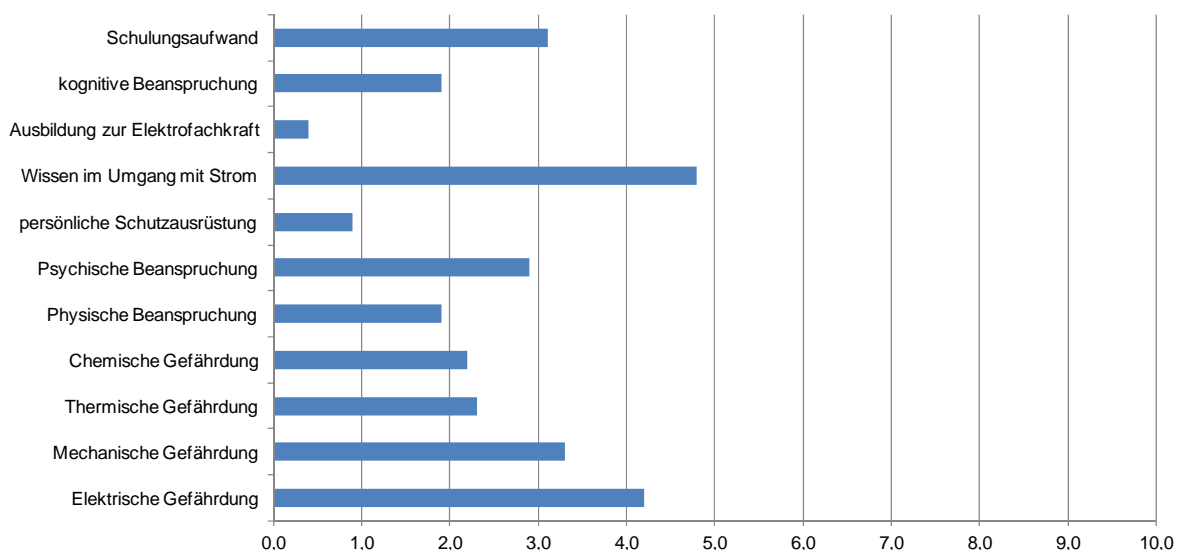


Abb. 5.5 Auswirkungsgrad im Werkstatt/Service-Bereich ohne Erfahrungen

Es zeigt sich, dass das Wissen im Umgang mit Strom als wichtigster Aspekt gesehen wird. Gefolgt von der Wahrnehmung, dass sich die elektrische Gefährdung auf die Tätigkeiten auswirken wird. Bei den Werkstätten ohne Erfahrung, werden derzeit ein,

max. zwei Mitarbeiter weitergebildet. Es herrscht die Meinung vor, dass damit der Bedarf für die nächsten Jahre gedeckt ist.

Bei den befragten Experten mit Erfahrungen im Umgang mit Elektrofahrzeugen wurde der Auswirkungsgrad im Szenario 2 teilweise anders bewertet.

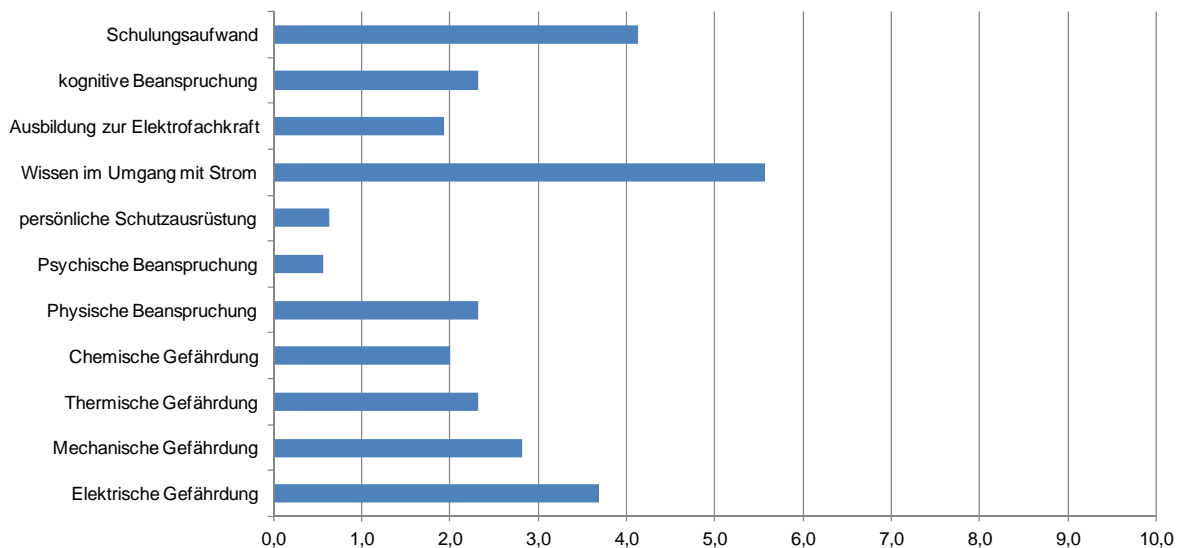


Abb. 5.6 Auswirkungsgrad im Werkstatt/Service-Bereich mit Erfahrungen

Aufgrund der engen Verbindung zu den Automobilherstellern ist die Weiterbildung nicht weiter problematisch und auch ein massiver Anstieg von Fahrzeugmodellen ist in einzelnen Vertragswerkstätten nicht zu erwarten. Somit bestehen die größten Risiken bei Unachtsamkeit und dem Verzicht auf neue Handlingsgeräte. Ein Anstieg der psychischen Belastungen in Folge größer werdender Arbeitsinhalte ist nur in geringem Umfang zu erwarten. Die Belastungen, die aus der Wartung konventioneller Fahrzeuge resultieren, werden auch in diesem Szenario noch den Alltag in Vertragswerkstätten bestimmen. Für freie Werkstätten sind voraussichtlich keine Änderungen zu erwarten.

Szenario 3 – optimistisch zu bewertende Entwicklung

Die große Nachfrage im Szenario 3 begünstigt die flächendeckende Einführung von Elektrofahrzeugen in Deutschland schon deutlich vor dem Jahr 2020. Folglich wird bis dahin eine beachtliche Zahl von Fahrzeugen den Garantiezeitraum verlassen haben oder zeitnah verlassen, so dass auch freie Werkstätten in den Servicemarkt eintreten können. Diese haben zusätzlichen Qualifikationsbedarf, um sich den neuen Marktgegebenheiten anpassen zu können.

Steigende Zulassungszahlen bei Elektroautos sorgen für eine zunehmende Diversifizierung der Fahrzeugtypen, die von den Werkstätten betreut werden. Entsprechend steigen die kognitiven Belastungen der Mitarbeiter, die gleichermaßen konventionell und elektrisch betriebene Fahrzeuge warten müssen. Auch der Umfang der Arbeiten die durchzuführen sind steigt, da weniger gravierende Fehler nicht mehr durch einfachen Komponentenaustausch behoben werden, sondern zunehmend auch „vor Ort Reparaturen“ ausgeführt werden. Dies bedeutet zugleich auch weitere Gefahren für

die Mitarbeiter, welche diese neuen Arbeitsinhalte zusätzlich korrekt bewältigen müssen. Eine weitere Belastungssteigerung ergibt sich aus der zunehmenden Zahl von Batteriewechseln, die durchgeführt werden müssen, da die HV-Batterien der ersten Fahrzeuggeneration das Ende ihres Lebenszyklus erreicht haben.

Die beschriebene Situation erfordert auch in der Personalplanung innerhalb der Werkstätten neue Lösungswege. So müssen stets genügend Mitarbeiter vor Ort sein, die mit der Technik von Elektrofahrzeugen vertraut sind. Zugleich muss ein Belastungsausgleich ermöglicht werden, um die Kombination der Belastungen durch Arbeit an konventioneller und elektrischer Antriebstechnik abzumildern.

Da derzeit keine eindeutigen Prognosen zum Marktvolumen an Elektrofahrzeugen erstellt werden können, sind auch hier in Abhängigkeit der drei Szenarien die Auswirkungen auf die Arbeitssicherheit im Bereich „Werkstatt/Service“ abzuschätzen.

5.4 Verwertung

Allgemeine Auseinandersetzung

Neben der Entwicklung, Herstellung, Nutzung und Betreuung von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen sind aufgrund des Technologiewandels auch bei Arbeiten zur Verwertung der Elektrofahrzeuge Auswirkungen auf die sichere und ergonomische Arbeitsgestaltung zu erwarten. Bei Verwertungsunternehmen ist in Kraftfahrzeugrecycling (Zerlegung der Fahrzeuge) und Recycling einzelner Komponenten (z. B. HV-Batterie) zu unterscheiden.

Unter dem Gesichtspunkt begrenzter Ressourcen und dem Wunsch nach ökologischen, nachhaltigen Produktlebenszyklen ist Recycling von Lithium-Ionen-Batterien von großer Bedeutung. Bereits von anderen Batteriekonzepten ist bekannt, dass adäquates Recycling eine Notwendigkeit ist, um Gefahren für die Umwelt zu vermeiden. Die Lithium-Ionen-Batterien enthalten Schwermetalle und giftige Elektrolyte. Wirtschaftlich gesehen besteht allerdings nur ein geringer Anreiz, Lithium-Ionen-Batterien wiederaufzuarbeiten, da die meisten Batterien nur geringe Mengen Lithiumkarbonat enthalten und das Material im Vergleich zu anderen Metallen zurzeit relativ preiswert ist.

In naher Zukunft müssen zwei Konzepte verfolgt werden. Auf der einen Seite steht die Weiterverwendung in anderen Anwendungsbereichen, auf der Anderen steht direktes Recycling. Die Weiterverwendung von Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen wurde bereits 2000 von Gaines und Cuenca besprochen. Sie führten hierbei ein Pilotprojekt aus Mexico an, bei dem gebrauchte Batterien zum Zwischenspeichern der Energie von Photovoltaikzellen genutzt wurden. Auch das Unternehmen Better Place legt die Verwendung von Batterien am Ende der für Elektromobilität nutzbaren Lebensdauer im Energienetz nahe (WOLKIN, 2009), am Ende dieser zweiten Nutzungsphase würde ebenfalls das Recycling oder eine Entsorgung stehen. Beim Recycling von Lithium-Ionen-Batterien fallen Kosten für die Redistribution und die Durchführung der eigentlichen Recyclingprozesse an. Es wird erwartet, dass die Erlöse aus dem Verkauf recycelter Rohstoffe und die eingesparten Kosten für eine Entsorgung der Hochleistungsbatterien unterhalb der Kosten für das Recycling

liegen (GAINES et al., 2000). Die technischen Recyclingprozesse sind aufwändig, aber beherrschbar (MANFRED MUSTER CONSULTING, 2010). Sie verwenden zum Teil Gefahrstoffe, etwa flüssigen Stickstoff (GAINES et al., 2000), jedoch wurden auch bereits Prozesse entwickelt, die vollständig auf Gefahrstoffe verzichten und trotzdem gute Ergebnisse erzielen (HANISCH et al., 2011).

Es gilt, unabhängig von der Menge der auf dem Markt vorhandenen Elektrofahrzeuge, die zwei benannten Konzepte in ihren Auswirkungen auf die menschliche Arbeit zu bewerten.

Experteninterviews im Bereich Verwertung

Im Rahmen der Gutachtenerstellung wurden zunächst fünf Unternehmen des Kraftfahrzeugrecycling stichprobenartig ausgewählt. Dabei zeigte sich, dass bisher keine Erfahrungen bezüglich der Zerlegung von Elektrofahrzeugen bestehen. Hier wurde darauf verwiesen, dass die bislang im Umlauf befindlichen Elektrofahrzeuge in der Regel vom Hersteller zurückgeführt und zerlegt werden. Folglich wurde für die Beurteilung der Auswirkungen im Rahmen dieses Gutachtens ausschließlich die Verwertung der Hochvolt-Komponente Lithium-Ionen-Batterie betrachtet. Hierzu wurden zwei Erfahrungsträger im Recycling von Lithium-Ionen-Batterien kontaktiert. Die Experten konnten den Auswirkungsgrad auf die menschliche Arbeit zum aktuellen Zeitpunkt gut abschätzen. Zur zukünftigen Entwicklung kann aus Expertensicht derzeit noch nicht viel gesagt werden. Die Ergebnisse der Expertenbefragung werden für Szenario 2 grafisch dargestellt. Die Auswirkungen in den Szenarien 1 und 3 werden abgeschätzt.

Erfahrungen eines Verwertungsunternehmens:

- Die Verwertung von Lithium-Ionen-Akkus findet bereits statt.
- Die Verwertung von Elektrofahrzeugen kann ohne Zusatzleistungen in die bestehenden Abläufe integriert werden.
- Die zu verwertenden Akkus sind zum Teil noch restgeladen. Um einen Kurzschluss zu vermeiden besteht die Forderung, Batteriekontakte vor der Verwertung abzudecken.
- Der Umgang mit der Hochvolttechnik muss in einer Weiterbildungsmaßnahme geschult werden.
- Zurzeit ist von Seiten der Fahrzeughersteller keine Zerlegung der Akkus vorgesehen, laut Aussage der Unternehmen auch nicht zu einem späteren Zeitpunkt.
- Die Akkus werden mit Gabelstaplern transportiert und unbearbeitet in den Ofen gegeben.
- Das Aufwand-Nutzen-Verhältnis wird als ungünstig eingeschätzt, da zu viele Arbeitsschutzmaßnahmen zu treffen sind.
- Es sind keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen erforderlich.

Szenario 1 – pessimistisch zu bewertende Entwicklung

Im Szenario 1 wird der Anteil der Elektrofahrzeuge auf dem Markt so gering sein, dass die Hochvoltbatterien beim Verwerter eher Exoten sind bzw. nur zu den Erfahrungsträgern gebracht werden. In diesem Fall werden die Konzepte zur Wiederge-

winnung von Materialien nicht umgesetzt werden. Demzufolge wird es in dieser Phase des Produktlebenszyklus zu keinen nennenswerten Auswirkungen kommen.

Szenario 2 – neutral zu bewertende Entwicklung

Im Szenario 2 ist nicht zu erwarten, dass es zu großen Veränderungen in den Verwertungsunternehmen kommen wird. Gravierende Auswirkungen sind erst dann zu erwarten, wenn der Batteriehersteller den Verkauf recycelter Rohstoffe anstrebt und die eingesparten Kosten für eine Entsorgung der Hochleistungsbatterien unterhalb der Kosten für das Recycling liegen.

In dieser Phase der Elektromobilität (Pilotphase) sind beim Verwerter noch keine erwähnenswerten Stückzahlen von Lithium-Ionen-Akkus mit mehr als 200 kg zu erwarten. Bisher gibt es die wesentlich kleineren Hybridfahrzeug-Batterien, ca. 35 kg, die in den normalen Ablauf der Verwertung eingeschleust werden können (Nickel-Metallhydrid²). Die Mitarbeiter im Verwertungsprozess müssen an einer allgemeinen Unterweisung für die Arbeit unter Hochspannung teilnehmen, dann sind sie befugt die Batterien zu transportieren und zu verwerten. Für die einzelnen Arbeitsschritte muss keine spezielle Arbeitsschutzkleidung getragen werden. Es sind lediglich für einige Arbeitsschritte spezielle Handschuhe zu tragen. Allerdings sind diese Handschuhe aufgrund ihrer Schutzeigenschaften sehr dick, so dass sie die Arbeit zusätzlich behindern können. Es kommt mitunter vor, dass die Schutzhandschuhe nicht getragen werden und Verletzungen wahrscheinlicher sind.

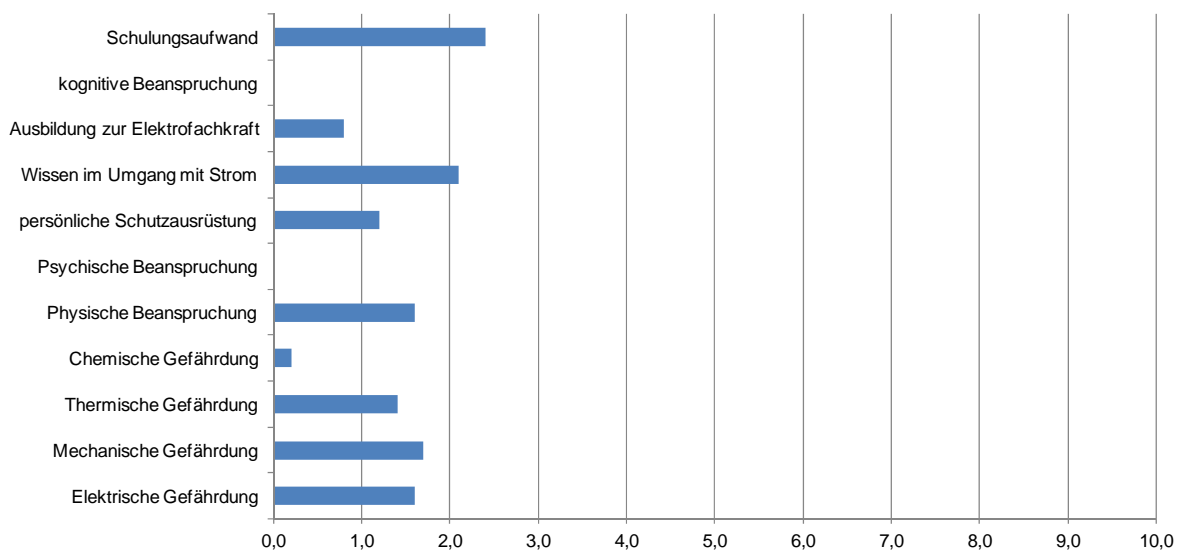


Abb. 5.7 Auswirkungsgrad beim Verwerter

Szenario 3 – optimistisch zu bewertende Entwicklung

Das Szenario 3 ist im Bereich der Verwerter analog zum Szenario 2 zu betrachten, d. h. sobald die Batteriehersteller den Verkauf recycelter Rohstoffe anstreben, wird die Zerlegung der Hochvolt-Batterien erforderlich.

² Beispielsweise wird im Pkw Toyota Prius eine der bislang größten serienmäßig hergestellten Nickel-Metallhydrid-Batterien mit über 200 V und 6,5 Ah zur Versorgung eines 60-kW-Elektromotors eingesetzt

6 Fazit

Die Entwicklung, Herstellung und das Recycling von Elektrofahrzeugen ist zwar grundsätzlich mit hohen Anforderungen im Arbeits- und Gesundheitsschutz verbunden, von einem tiefgreifenden Veränderungsprozess für die Beschäftigten im Produktlebenszyklus ist nach derzeitiger Einschätzung allerdings nicht auszugehen. Zu dieser Einschätzung trug sowohl eine umfangreiche Literaturrecherche von populistischen und fachspezifischen Veröffentlichungen bei als auch eine Studie mit betrieblichen Experten.

Die Literaturrecherche im Rahmen dieses Gutachtens ergab, dass sich eine Vielzahl von Veröffentlichungen, welche die Sicherheit von Elektrofahrzeugen betreffen, hauptsächlich auf die Sicherheitsanforderungen der Fahrzeugnutzer beziehen und weniger auf die Arbeitsprozesse im Produktlebenszyklus. Entsprechend fehlen noch wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse über die Auswirkungen der teilweise veränderten Belastungs- bzw. Gefährdungssituationen. Hierzu ist anzumerken, dass aufgrund der verstärkten staatlichen Förderung, bspw. durch BMBF-Projekte, mittelfristig (2-4 Jahre) ein deutlicher Erkenntnisgewinn insbesondere für die Montage und den Verbau von Hochvolt-Batteriesystemen zu erwarten ist.

Um die Auswirkungen auf die menschliche Arbeit trotz der wenigen Veröffentlichungen objektiv bewerten zu können, wurden strukturierte Interviews mit betrieblichen Experten aus den Bereichen der Zulieferindustrie, Automobilherstellung, Kfz-Service und Kfz-Verwertung (Recycling) durchgeführt. Es wurden nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten erwartete Auswirkungen in den vier Themenfeldern Gefährdungssituation, belastungsrelevante Aspekte von Arbeitsinhalt und Arbeitsausführung, qualifikatorische Anforderungen sowie Gestaltung und technische Ausstattung der Arbeitsplätze klassifiziert. Die Aufgabe der betrieblichen Experten bestand darin, die Auswirkungen anhand der im Kapitel 4.4 beschriebenen drei Szenarien zu bewerten. Es wurde festgestellt, dass der überwiegende Teil der Experten lediglich die neutral zu bewertende Entwicklung (Szenario 2) abschätzen konnte. Als Grund wurde im Wesentlichen angeführt, dass das derzeit geringe Marktvolumen an Elektrofahrzeugen und die damit verbundenen fehlenden Erfahrungen eine Abschätzung zukünftiger Entwicklungen erschweren.

Die Ergebnisse der Experteninterviews in den vier Bereichen des Produktlebenszyklus von Elektrofahrzeugen zeigen, dass die Auswirkungen im Bereich der Zulieferer von Hochvoltbatterien (Lithium-Ionen) sehr stark vom zu realisierbaren Automatisierungsgrad in der Fertigung abhängen. Nach Aussage der Experten – aus Sicht des Arbeitsschutzes – sind die Auswirkungen in diesem Bereich derzeit, im Vergleich zu den anderen Bereichen, dennoch als eher gering einzustufen. Die Automobilhersteller befinden sich in den Anfängen der serienreifen Produktion und werden die notwendigen Normen und Standards nach und nach durch Mitarbeit in entsprechenden Gremien und Verbänden aufeinander abstimmen. Laut Experteninterviews werden hinsichtlich der genannten Auswirkungsarten (siehe Abb. 4.4) beim Automobilhersteller die größten Effekte (siehe Abb. 5.2) zu erwarten sein. Im Werkstatt- und Servicebereich herrscht derzeit die Meinung, dass durch die Elektromobilität nicht mit gravierenden Auswirkungen zu rechnen ist. Lediglich die fachspezifische Schulung der betroffenen Mitarbeiter und die Absicherung des jeweiligen Arbeitsplat-

zes sind aus heutiger Sicht notwendig. Beim Kfz-Recycling wurde der Fokus auf die Batterieverwertung gelegt. Unternehmen zur Batterie-Verwertung stuften die Auswirkungen derzeit ebenfalls als geringfügig ein, da beim bestehenden Verwertungskonzept nahezu keine Materialrückgewinnung erfolgt. Es ist allerdings davon auszugehen, dass mittelfristig aufgrund einer Rohstoffverknappung eine gezielte Demontage der Batterien erfolgen wird, so dass eine Neubewertung der Gefährdungssituation erforderlich wird. In Abb. 6.1 bis Abb. 6.5 ist die Bewertung der Auswirkungen entsprechend der gewählten Klassifizierung zusammenfassend dargestellt. Für die Bewertung wurde eine Skala von 0 (keine) bis 10 (starke Auswirkungen) vorgegeben.

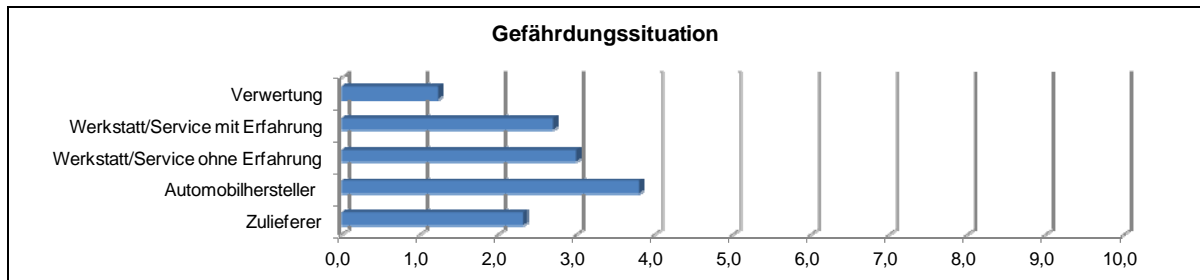


Abb. 6.1 Abschätzung der Auswirkungen auf die Gefährdungssituation

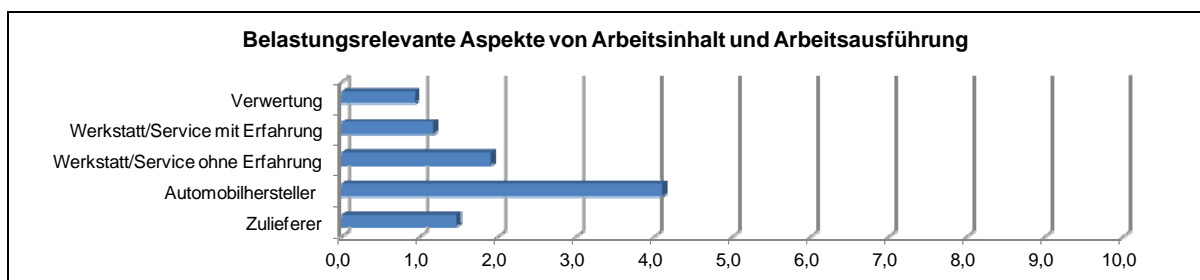


Abb. 6.2 Abschätzung der Auswirkungen auf belastungsrelevante Aspekte von Arbeitsinhalt und Arbeitsausführung

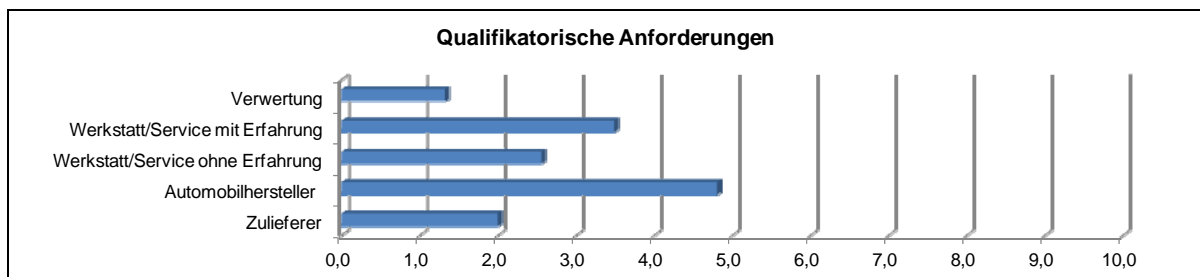


Abb. 6.3 Abschätzung der Auswirkungen auf die qualifikatorischen Anforderungen

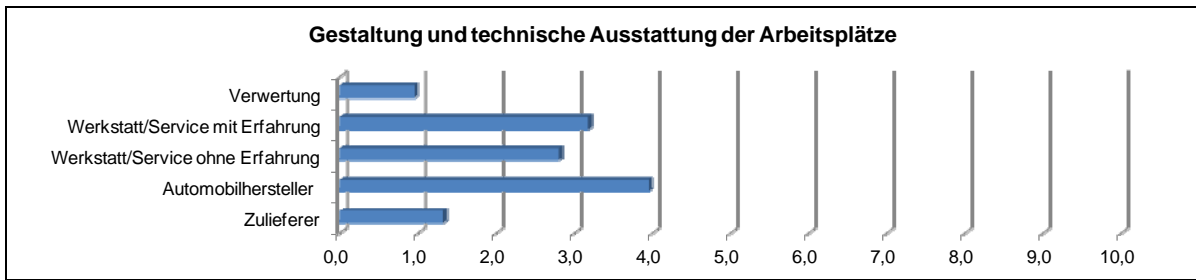


Abb. 6.4 Abschätzung der Auswirkungen auf die Gestaltung und technische Ausstattung der Arbeitsplätze

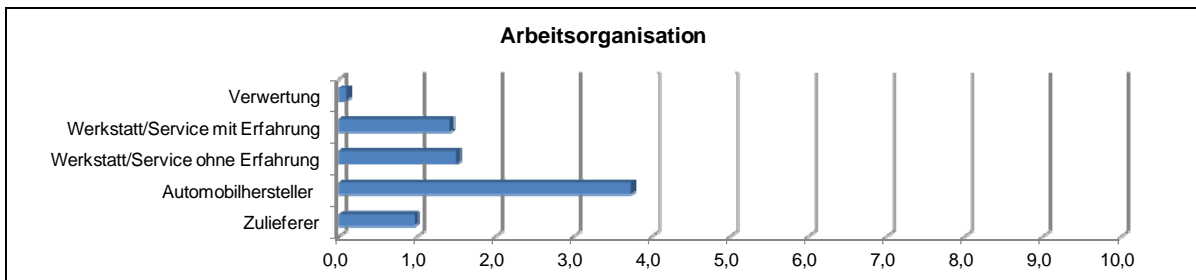


Abb. 6.5 Abschätzung der Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation

Obwohl moderne Lithium-Ionen-Batterien über umfangreiche Sicherheitseinrichtungen verfügen, können nicht alle möglichen Gefährdungen für die Beschäftigten zweifelsfrei ausgeschlossen werden. Hier stellen z. B. Beschädigungen im Montageprozess und durch unsachgemäßen Umgang ein nicht zu vernachlässigendes Risiko dar. Durch die rasante Entwicklung der Lithium-Speichertechnologie ist es aktuell nicht möglich, langfristige Aussagen darüber zu treffen, welche Materialkombinationen eine große Marktdurchdringung im Automobilssektor erreichen werden.

Mit der Lithium-Technologie ist zwar grundsätzlich auch die Einführung neuer Gefahrstoffe verbunden, allerdings besteht die Gefahr des Kontaktes der Beschäftigten mit diesen Gefahrstoffen in der Regel nur bei Beschädigungen der Batteriesysteme. Die daraus folgenden Expositionsszenarien sind besonders für Kfz-Service- und Kfz-Recycling-Betriebe relevant. Zudem ergeben sich Gefahren für Beteiligte von Rettungseinsätzen im Straßenverkehr. Weitere signifikante Auswirkungen infolge des Einsatzes neuer Gefahrstoffe sind in Verbindung mit der Entwicklung der Leichtbau-Technologien zu erwarten. Hierbei ist insbesondere der Einsatz von neuartigen Klebstoffen (lösemittelhaltig) für Aluminium-Magnesium-Legierungen zu nennen. Des Weiteren wird der Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen, wie z. B. die Karbonfaser, eine Neubewertung der Gefährdungssituation erfordern. Zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung lagen diesbezüglich noch keine qualifizierten Informationen vor.

Sowohl die Literaturrecherche als auch die Studie mit betrieblichen Experten haben gezeigt, dass zur Zeit der Fokus bei der Bewertung von Auswirkungen auf die menschliche Arbeit auf die Entwicklung, Montage und den Verbau von Hochvoltbatterien zu legen ist. Es kann zusammenfassend festgestellt werden, dass für den Umgang mit Hochvoltbatterien zum Teil auf Erfahrungswerte der Hybridtechnologie zurückgegriffen werden kann. 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. Ausgehend von den Rechercheergebnissen zeigt sich, dass durch einheitliche Standards und internationale Normen eine systemübergreifende Durchsetzung der erforderlichen Sicherheitsanforderungen gewährleistet werden kann. Im Zuge der Weiterentwicklung bereits vorhandener Standards und internationaler Normen (z. B. Elektrotechnik) können weitere Maßnahmen für die Sicherstellung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes abgeleitet werden. So hat bspw. die Qualifizierung und Weiterbildung des vorhandenen Fachpersonals und der Ausbau der beruflichen und akademischen Bildung eine besondere Bedeutung. Vorhandene Ausbildungsangebote müssen in Zusammenarbeit mit Industrie- und Handwerkskammern angepasst und um neue, auf die Anforderungen der Elektromobilität ausgerichtete Lehrangebote ergänzt werden.

Literaturverzeichnis

- ACATECH. 2010a.** *ELEKTROMOBILITÄT - Potenziale und wissenschaftlich-technische Herausforderungen.* Heidelberg u. a. : Springer, 2010a.
- ACATECH. 2010.** *Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann - Status quo - Herausforderungen - offene Fragen.* Heidelberg u. a. : Springer, 2010.
- ALTAIRNANO. 2010.** Safety Study – Lithium titanate. *www.altairnano.com.* [Online] 2010.
- ANSMANN GmbH. 2006.** SAFETY DATA SHEET for Ansmann Li-Ion batteries. [Online] 2006.
- ANSMANN. 2009.** SAFETY DATA SHEET Lithium Metal Batteries (Lithium-Manganese-Dioxide Photo batteries). [Online] 2009.
- BABIEL, G. 2009.** *Elektrische Antriebe in der Fahrzeugtechnik.* Wiesbaden : Vieweg+Teubner, 2009.
- BARCELOUX, D. G. 1999.** Cobalt. *Clinical Toxicology, Vol. 37, No. 2.* 1999, S. 201-216.
- BELHAROUAK, I. et al., 2007.** On the Safety of the Li₄Ti₅O₁₂/LiMn₂O₄ Lithium-Ion Battery System. *Journal of The Electrochemical Society.* Oktober 2007, S. A1083-A1087.
- BERGER; VDMA. 2011.** E-Mobility – Chancen und Risiken für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau. *www.rolandberger.com.* [Online] Mai 2011. http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Zukunftsfeld_Elektromobilitaet_rev_20110509.pdf.
- BETTER PLACE. 2011.** <http://www.betterplace.com>. [Online] 2011. <http://www.betterplace.com/the-solution>.
- BETTER PLACE. 2010a.** Aarhus paves the way for electric cars. *www.betterplace.com.* [Online] August 2010a. <http://www.betterplace.com/global-progress-denmark>.
- BETTER PLACE. 2010.** Better Place opens first electric vehicle demonstration center. *www.betterplace.com.* [Online] Februar 2010. <http://www.betterplace.com/global-progress-israel>.
- BETTER PLACE. 2010.** Fact Sheet Yokohama Exhibit Background. *www.betterplace.com.* [Online] Januar 2010.
- BIERE, D., DALLINGER, D. und WIETSCHEL, M. 2009.** Ökonomische Analyse der Erstnutzer von Elektrofahrzeugen. *Zeitschrift für Energiewirtschaft.* Februar 2009, S. 173-181.
- BILJON, J. und KOTZÉ, P. 2008.** Cultural Factors in a Mobile Phone Adoption and Usage Model. *www.jucs.org.* [Online] 2008. http://www.jucs.org/jucs_14_16/cultural_factors_in_a.
- BMBF - NPE - AG2. 2010.** Batterietechnologie. *www.bmbf.de.* [Online] November 2010. http://www.bmbf.de/pubRD/agzwei_batterietechnologie.pdf.

- BMBF - NPE - AG3. 2010.** Lade-Infrastruktur und Netzintegration. *www.bmbf.de*. [Online] November 2010. http://www.bmbf.de/pubRD/agdrei_lade_infrastruktur_netzintegration.pdf.
- BMBF - NPE - AG4. 2010.** Normung, Standardisierung und Zertifizierung. *www.bmbf.de*. [Online] November 2010. http://www.bmbf.de/pubRD/agvier_normierung_standardisierung_zertifizierung.pdf.
- BMBF - NPE - AG6. 2010.** „Ausbildung und Qualifizierung“ der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). *www.bmbf.de*. [Online] November 2010. http://www.bmbf.de/pubRD/agsieben_ausbildung_qualifizierung.pdf.
- BMBF. 2010.** Batterieforschung als Schlüssel. *www.bmbf.de*. [Online] 2010. www.bmbf.de/pub/elektromobilitaet.pdf.
- BMBF. 2011.** Batterie-Produktion führt Deutschland in die Elektromobilität. *www.bmbf.de*. [Online] Mai 2011. <http://www.bmbf.de/press/3092.php>.
- BMU. 2011.** Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. *www.erneuerbare-energien.de*. [Online] Februar 2011. http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_arbeitsmarkt_bf.pdf.
- BOSTON CONSULTING GROUP. 2010.** Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020. *www.bcg.com*. [Online] Januar 2010. <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>.
- BUNDESREGIERUNG. 2011.** *Regierungsprogramm Elektromobilität*. Berlin : Bundesregierung, 2011.
- CANZLER, W. und KNIE, A. 2009.** *Grüne Wege aus der Autokrise*. Berlin : Heinrich-Böll-Stiftung, 2009.
- CAR. 2011.** Elektroautos gehören in die Stadt. *Der Tagesspiegel*. 2011, 18.
- CARLSON FUND. 2010.** OmniQuest-Studie: Elektroautos in Deutschland gefragt - insbesondere junge Fahrer. *www.emobility-web.de*. [Online] 5. August 2010. <http://www.emobility-web.de/articles/emobility-studien/40/carlson-fund-elektroautos-in-deutschland-gefragt-insbesondere-junge-fahrer-interessieren-sich>.
- COOPER, Cary L. 2000.** *Theories of organizational stress*. Oxford : Oxford Univ. Press, 2000.
- CREUTZIG, Jürgen. 2010.** *www.sachverstaendigentag21.de*. [Online] März 2010. [Zitat vom:] www.sachverstaendigentag21.de/downloads/Prof_Creutzig.pdf.
- DAIMLER. 2011.** Kapitel „Unsere Mitarbeiter“. <http://nachhaltigkeit.daimler.com>. [Online] März 2011. http://nachhaltigkeit.daimler.com/daimler/annual/2011/nb/German/pdf/05_DAI_NB2011_Mitarbeiter_online.pdf.
- DAVIS, F. 1993.** User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts. [Buchverf.] E. Motta und S. Wiedenback. *International Journal of Man-Machine Studies*. s.l. : ELSEVIER, 1993, S. 475-487.
- DBM ENERGY. 2011.** Batterie des Weltrekordautos besteht Test. *www.welt.de*. [Online] April 2011. <http://www.welt.de/wirtschaft/article13039428/Batterie-des-Weltrekordautos-besteht-Test.html>.

- DETHLOFF, C. 2004.** *Akzeptanz und Nichtakzeptanz von technischen Produktinnovationen.* Köln : Pabst Science Publishers, 2004.
- DRAGANO, N. 2007.** *Arbeit, Stress und krankheitsbedingte Frührenten.* Wiesbaden : s.n., 2007.
- EDWARDS, P. 1994.** *From Impact to Social Process: Computers in Society and Culture.* Beverly Hills : s.n., 1994.
- ESCH, F.-R., SCHÄFERS, T. und KUKLINSKI, C. 2011.** Elektromobilität emotionalisieren und gezielt vermarkten. *Zeitschrift für die gesamte Wertschöpfungskette Automobilwirtschaft (ZfAW).* März 2011, S. 14-18.
- ESKEBÆK, L. und HOLST, J. 2009.** *Electric Vehicles on the Danish market in 2020.* Copenhagen : s.n., 2009.
- Fachverband für Elektromobilität (FVEM). 2010.** Keine Fahrt mit Insel-Lösungen. *Produktion.* 2010, 6, S. 12.
- FALK, A. 2010.** Schulung für die Werkstätten – Hybrid- und Elektroautos verändern das Berufsbild KFZ-Mechatronikers. *www.emissionslos.com.* [Online] September 2010. <http://www.emissionslos.com/auto/357-schulung-fur-die-werkstatten-hybrid-und-elektroautos-verandern-das-berufsbild-kfz-mechatronikers.html>.
- FLEISCHER, T. und WEIL, M. 2010.** E-Mobilität und Energiespeicher im Blickfeld der Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse. *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis.* Dezember 2010, S. 56-64.
- FORSCHUNGSSTELLE FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT. 2003.** *Studie: Systemvergleich alternativer Antriebstechnologien.* München : s.n., 2003.
- FORSCHUNGSSTELLE FÜR ENERGIEWIRTSCHAFT. 2010.** Untersuchung und Optimierung elektrischer Antriebe. *www.ffe.de.* [Online] September 2010. <http://www.ffe.de/die-themen/industrielle-anlagen-und-prozesse/355>.
- FORUM VERLAG HECKERT. 2011.** Arbeitsschutz beim Umgang mit Elektrofahrzeugen. *www.sifa-news.de.* [Online] Januar 2011. <http://www.sifa-news.de/news/elektrosicherheit/arbeitsschutz-beim-umgang-mit-elektrofahrzeugen>.
- FUHRMANN, G. F. 2006.** Allgemeine Toxikologie der Schwermetalle. *Toxikologie für Naturwissenschaftler.* Wiesbaden : B. G. Teubner Verlag/GWV Fachverlage GmbH, 2006, S. 169-205.
- GAINES, L. und CUENCA, R. 2000.** *www.transportation.anl.gov.* [Online] 2000. <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/149.pdf>.
- GEBERT, Diether. 1981.** *Belastung und Beanspruchung in Organisationen.* Stuttgart : Poeschel, 1981.
- GRIß, René und JOSSEN, Andreas. 2010.** Sicherheitsaspekte beim Testen von Lithium-Ionen Batterien. [http://www.basytec.de.](http://www.basytec.de) [Online] 2010. http://www.basytec.de/Literatur/2010_Sicherheit_Testen.pdf.
- HANISCH, C., HASELRIEDER, W. und KWADÉ, A. 2011.** Recovery of Active Materials from Spent Lithium-Ion Electrodes and Electrode Production Rejects. [Buchverf.] J. Hesselbach und J. (Hrsg.) Herrmann. *Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing.* Berlin, Heidelberg : Springer, 2011.

- HELMERS, E. 2010.** Bewertung der Umwelteffizienz moderner Autoantriebe - auf dem Weg vom Diesel-Pkw-Boom zu Elektroautos. s.l. : Springer, 2010.
- HEYMANN, E. 2010.** Noch ein weiter Weg bis zum Massenmarkt. s.l. : Deutsche Bank Research, 2010. S. 13.
- HOCHSCHULE MÜNCHEN. 2011.** Elektrotechnik - Elektromobilität (Bachelor). <http://w3ee-n.hm.edu>. [Online] 2011. <http://w3ee-n.hm.edu/bachelor/elektromobilitaet/index.de.html>.
- HOPPE, A. 2009.** *Technikstress - theoretische Grundlagen, Praxisuntersuchungen und Handlungsregularien*. Cottbus : Shaker, 2009.
- HRACH, D. und CIFRAIN, M. 2011.** Batterietechnik und -management im Elektrofahrzeug. *Elektrotechnik & Informationstechnik*. Februar 2011, S. 16-21.
- IG METALL. 2011.** Mit Bildung ins Zeitalter der E-Mobilität. www.igmetall.de. [Online] Februar 2011. <http://www.igmetall.de/cps/rde/xchg/internet/style.xsl/elektromobilitaet-im-kfz-gewerbe-6969.htm>.
- INSTITUT FÜR TECHNIKFOLGEABSCHÄTZUNG UND SYSTEMANALYSE. 2010.** *Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung*. Eggenstein-Leopoldshafen : s.n., 2010.
- J.D. POWER AND ASSOCIATES. 2010.** Studie: E-Cars bleiben noch in der Nische. www.automotiveit.eu. [Online] Oktober 2010. <http://www.automotiveit.eu/studie-e-cars-bleiben-noch-in-der-nische/news/id-0018925>.
- JACOBS, U. und SCHMIDT, M. 2009.** Test- und Sicherheitsvorschriften einschließlich Normen. [Buchverf.] H. Schäfer. *Praxis der elektrischen Antriebe für Hybrid- und Elektrofahrzeuge*. Renningen : Expert Verlag, 2009, S. 70-74.
- KALUZA, G. 2005.** *Stressbewältigung*. Heidelberg : Springer Verlag, 2005.
- KANG, B. und CEDER, G. 2009.** *Battery materials for ultrafast charging and discharging*. s.l. : Nature 458, 2009.
- KARPSTEIN, M. 2011.** Händler trainieren Umgang mit Hochvolttechnik. *Automobilwoche*. 27. Juni 2011, S. 17.
- KERN, R., BINDEL, R. und UHLENBROCK, R. 2009.** Durchgängiges Sicherheitskonzept für die Prüfung von Lithium-Ionen-Batteriesystemen. *ATZelektronik*. 05 2009, S. 1-8.
- KIRCHNER, J.-H. 1993.** Arbeitswissenschaft – Entwicklung eines Grundkonzeptes. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 47. 1993, S. 85-92.
- KITOH, K. und NEMOTO, H. 1999.** 100 Wh Large size Li-ion batteries and safety. *Journal of Power Sources*. September 1999, S. 887-890.
- KNAUER, M. 2011.** Von Berthas Ligroin zur Strom-Zapfsäule. *Automobilwoche (Sonderbeilage)*. 27. Juni 2011, S. 1.
- KNÜPFER, G. 2010.** Autohersteller zurren Strategie zur E-Mobility fest. *Produktion*. 2010, 22-23, S. 12.
- LAHL, Uwe. 2010.** www.sachverstaendigentag21.de. [Online] März 2010. www.sachverstaendigentag21.de/downloads/Prof_Lahl.pdf.

- LEMMER, K. et al., 2011.** *Handlungsfeld Mobilität: Infrastrukturen sichern. Verkehrseffizienz verbessern. Exportchancen ergreifen.* Berlin : Springer Verlag, 2011.
- LINDEN, D. 2008.** *Handbook of Batteries.* New York : McGraw-Hil, 2008.
- MÄKITALO, Ö. 2006.** Facts about the Mobile. A Journey through Time. *www.mobilen50ar.se.* [Online] 2006. www.mobilen50ar.se/eng/FaktabladENGFinal.pdf.
- MALLENIOUS, S., ROSSI, M. und TUUAINEN, V. 2007.** Factors affecting the adoption and use of mobile devices and services by elderly people – results from a pilot study. *classic.marshall.usc.edu.* [Online] 2007. <http://classic.marshall.usc.edu/assets/025/7535.pdf>.
- MANFRED MUSTER CONSULTING (MMC). 2010.** *Zukunft Elektromobilität - Auswirkungen auf Technologieführerschaft, Industriestrukturen und Beschäftigung.* Norderstedt : s.n., 2010.
- MCKINSEY & COMPANY. 2011.** Studie: Elektroautos schaffen 110.000 neue Jobs in Europa. *Wirtschaftsblatt.* 2011.
- NAUNIN, D. 2007.** *Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge: Technik, Strukturen und Entwicklungen.* Renningen : expert Verlag, 2007.
- NAZRI, G. und PISTOIA, G. 2009.** *Lithium batteries : science and technology.* New York : Springer, 2009.
- NEUHÄUSER, K. und NOTZKE, St. 2009.** Elektromobilität: Eine Gleichung mit Unbekannten. *Dow Jones Energy Weekly.* 2009, 35, S. 9-10.
- OXMO. 2010.** Autohersteller fordern Elektroauto-Förderung. *www.elektroauto-nachrichten.de.* [Online] Dezember 2010. <http://www.elektroauto-nachrichten.de/elektroauto-hersteller/autohersteller-fordern-elektroauto-forderung/>.
- OXMO. 2011.** Bundesregierung will Akku-Förderung verdoppeln. *www.elektroauto-nachrichten.de.* [Online] Mai 2011. <http://www.elektroauto-nachrichten.de/elektroauto-akkus/bundesregierung-will-akku-forderung-verdoppeln/>.
- OXMO. 2011.** Elektroautos - Bundesregierung forciert Förderung. *www.elektroauto-nachrichten.de.* [Online] Mai 2011. <http://www.elektroauto-nachrichten.de/elektroauto-news/elektroautos-bundesregierung-forciert-forderung/>.
- PAINE, Ch. 2006.** *Who killed the Electric Car?* 2006.
- POLL, D. 2011.** E-Mobilität erfordert neue Produktionstechnologien. *Produktion.* 2011, 12, S. 1.
- PORTAL-21. 2010.** [www.Stromtankstellen-21.de.](http://www.Stromtankstellen-21.de) [Online] Dezember 2010.
- PRICEWATERHOUSECOOPERS, FRAUNHOFER IAO. 2010.** Elektromobilität - Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand. *wiki.iao.fraunhofer.de.* [Online] Juni 2010. <http://wiki.iao.fraunhofer.de/images/studien/elektromobilitaet-herausforderungen-fuer-industrie-und-oeffentliche-hand.pdf>.
- REIF, K. 2009.** *Automobilelektronik.* Wiesbaden : Vieweg+Teubner, 2009. S. 209-245.
- RICHTER, P. und HACKER, W. 1998.** *Belastung und Beanspruchung – Streß, Ermüdung und Burnout im Arbeitsleben.* Heidelberg : Roland Asanger Verlag, 1998.

- ROTHER, E. 2008.** Lithium-Akkus bedrängen Bleibatterien - Technologiewechsel birgt keine Risiken. *Polyscope*. Oktober 2008.
- SACKMANN, S. A. 2005.** *Toyota Motor Corporation - Eine Fallstudie aus unternehmenskultureller Perspektive*. s.l. : Bertelsmann-Stiftung, 2005.
- SAFT. 2009.** Material/Product Safety Data Sheet - Lithium-Ion multi-cell battery pack. [Online] Juli 2009.
- SAGAWA, T. 2010.** Sicherheit der Hochvolttechnik bei Elektro- und Hybridfahrzeugen. *www.sachverstaendigentag21.de*. [Online] 2010. http://www.sachverstaendigentag21.de/downloads/6_Sagawe.pdf.
- SCHÄFER, H. 2009.** *Praxis der elektrischen Antriebe für Hybrid- und Elektrofahrzeuge*. Renningen : expert Verlag, 2009.
- SKUDELNY, H.-C. 1998.** *Elektrische Antriebe für Fahrzeuge des öffentlichen Nahverkehrs*. Berlin, Offenbach : VDE Verlag, 1998.
- SPINARKE, S. 2011.** Kabelhersteller Lapp macht (Elektro)mobil. *Produktion*. 2011, 5, S. 8.
- TELECOM. 1999.** The Social Impact of Mobile Telephony. *www.itu.int*. [Online] 1999. http://www.itu.int/telecom-wt99/press_service/information_for_the_press/press_kit/backgrounders/backgrounders/social_impact_mobile.html.
- TENDERICH, B. et al., 2008.** *Electric Vehicle Charging Infrastructure Rollout Strategy*. Berkeley : Center for Entrepreneurship & Technology (CET), University of California, 2008.
- THIELMANN, A., ISENMANN, R. und WIETSCHER, M. 2010.** *Roadmap zu Lithium-Ionen-Batterien*. Karlsruhe : Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2010.
- THIERBACH, M. 2010.** Zukunft Elektrofahrzeug – Arbeitsschutz ist gefragt. *www.kan.de*. [Online] April 2010. http://www.kan.de/uploads/tx_kekandocs/2010-4-Elektromobilitaet-de.pdf.
- TÜV RHEINLAND. 2010.** TÜV Rheinland-Studie: Akzeptanz von Elektroautos in Deutschland. *www.presseportal.de*. [Online] 12. Oktober 2010. <http://www.presseportal.de/pm/31385/1697634/tuev-rheinland-studie-akzeptanz-von-elektroautos-in-deutschland-repraesentative-meinungsumfrage>.
- TÜV SÜD. 2010.** Sicherer Umgang mit Elektroautos. *www.haufe.de*. [Online] September 2010. <http://www.haufe.de/arbeitsschutz/newsDetails?newsID=1293100465.77>.
- TÜV. 2010.** *www.e-mobility-21.de*. [Online] April 2010. www.e-mobility-21.de/nc/related-e-auto-news/artikel/43526-tuev-sued-legt-studie-zur-elektromobilitaet-vor/187/.
- ULLRICH, G. 2010.** *Fahrerlose Transportsysteme*. Wiesbaden : Vieweg+Teubner, 2010.
- UNFALLKASSE POST UND TELEKOM. 2008.** Stromunfälle - Sicherheitsrisiko Spannung. *www.ukpt.de*. [Online] April 2008. http://www.ukpt.de/pages/publikationen/fachartikel/pdf/ukpt-kontakt_2008_02.pdf.

- VDA. 2011.** Die Strömung zu innovativen Veränderungen. *Magazin Verband der Automobilindustrie*. 2011, Mai, S. 15-16.
- VDE. 2010a.** *Elektrofahrzeuge - Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf*. Frankfurt/Main : s.n., 2010a.
- VDE. 2010.** *Studie: E-Mobility 2020*. Frankfurt/Main : s.n., November 2010.
- VDE. 2011.** *VDE-Trendreport 2011: Elektro- und Informationstechnik, Schwerpunkt: Smart Grids*. Frankfurt/Main : s.n., April 2011.
- VETTER, M. 2010.** Deutschland braucht mehr Geld für E-Mobility-Forschung. *Produktion*. 2010, 24, S. 1-2.
- WELT ONLINE. 2011.** Traum von der Superbatterie könnte wahr werden. *www.welt.de*. [Online] September 2011.
<http://www.welt.de/wissenschaft/article13601451/Traum-von-der-Superbatterie-koennte-wahr-werden.html>.
- WELTER, Ph. k.A..** Weiter - Schneller - Sauberer. *www.lithium-power.de*. [Online] k.A. <http://www.lithium-power.de/>.
- WIDMANN, B. 2011.** Bessere Batterien für Elektroautos. s.l. : Fraunhofer, 2011. 03, S. 20.
- WOLKIN, M. V. 2009.** The truth about lithium: abundant and recyclable. *http://blog.betterplace.com*. [Online] 2009. <http://blog.betterplace.com/2009/12/the-truth-about-lithium-abundant-and-recyclable/>.
- WÖRLE-KNIRSCH, J. M. und KRUG, H. F. 2007.** RISIKOFORSCHUNG UND TOXIKOLOGISCHE BEWERTUNG VON NANOMATERIALIEN. [Buchverf.] A. Gzásó, S. Greßler und F. (Hrsg.) Schiemer. *NANO*. WienNewYork : Springer, 2007, S. 101-114.
- YOSHIDO, M. 2009.** *Lithium-Ion Batteries. Science and Technologies*. New York : Springer Verlag, 2009.
- ZAHN, E. und WEIDLER, A. 1995.** Integriertes Innovationsmanagement. [Buchverf.] E. Zahn. *Handbuch Technologiemanagement*. Stuttgart : s.n., 1995.

Abbildungsverzeichnis

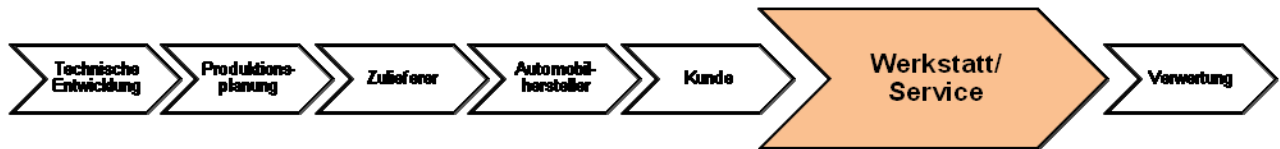
Abb. 4.1	Einfluss der Technologieänderungen auf die Auswirkungen	16
Abb. 4.2	Wegfallende Komponenten bei Elektrofahrzeugen (Quelle: Steinbeis-Stiftung)	17
Abb. 4.3	Übersicht der Materialgenerationen in der Lithium-Technologie (THIELMANN et al., 2010)	20
Abb. 4.4	Übersicht der Auswirkungsarten auf die menschliche Arbeit	24
Abb. 4.5	Einflussfaktoren auf das Marktvolumens von Elektrofahrzeugen	28
Abb. 4.6	Nutzerakzeptanz im Spannungsfeld der Elektromobilität (Quelle: PRTM Management Consultants, modifiziert)	32
Abb. 5.1	Auswirkungsgrad beim Zulieferer	41
Abb. 5.2	Auswirkungsgrad beim Automobilhersteller	45
Abb. 5.3	Fehlendes Risikobewusstsein in Werkstätten (Quelle: TÜV Süd)	46
Abb. 5.4	Erfahrungen im Umgang mit Elektrofahrzeugen	49
Abb. 5.5	Auswirkungsgrad im Werkstatt/Service-Bereich ohne Erfahrungen	50
Abb. 5.6	Auswirkungsgrad im Werkstatt/Service-Bereich mit Erfahrungen	51
Abb. 5.7	Auswirkungsgrad beim Verwerter	54
Abb. 6.1	Abschätzung der Auswirkungen auf die Gefährdungssituation	56
Abb. 6.2	Abschätzung der Auswirkungen auf belastungsrelevante Aspekte von Arbeitsinhalt und Arbeitsausführung	56
Abb. 6.3	Abschätzung der Auswirkungen auf die qualifikatorischen Anforderungen	56
Abb. 6.4	Abschätzung der Auswirkungen auf die Gestaltung und technische Ausstattung der Arbeitsplätze	57
Abb. 6.5	Abschätzung der Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation	57

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1	Relevante Quellen zur Elektromobilität	10
Tab. 3.4	Auswertung der Literaturrecherche	14
Tab. 4.1	Gefährdungen aktuell verwendeter Materialien in der Lithium-Technologie	21
Tab. 4.2	Quellenauszüge zu ausgehenden Gefahren von Lithium-Ionen-Batterien	22
Tab. 4.3	Beschreibung der Auswirkungsarten auf die menschliche Arbeit	25
Tab. 4.4	Marktentwicklungs-Szenarien von Elektrofahrzeugen	34
Tab. 5.1	Übersicht über die Aufgaben der vier ausgewählten Bereiche	36
Tab. 5.2	Anzahl der Experteninterviews in den jeweiligen Untersuchungsbereichen	37
Tab. 5.3	Potenzielle Städte für Experteninterviews im Bereich Werkstätten/Service	37
Tab. 5.4	Gefährdungen bei der HV-Batteriemontage	43
Tab. 5.5	Montageschritte für den Zusammenbau einer Hochvoltbatterie	43
Tab. 5.6	Potenzielle Städte für die Experteninterviews im Bereich Werkstatt/Service	48

Anhang 1 Interviewleitfaden für die Experteninterviews

In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) erfolgt eine betriebliche Untersuchung zur Erfassung möglicher arbeitswissenschaftlich relevanter, insbesondere Arbeits- und Gesundheitsschutz betreffende Auswirkungen der Elektromobilität im Werkstatt/Service-Bereich.



Ziel dieser Befragung ist es, herauszufinden wie gut die Werkstätten und der Service auf die Elektromobilität vorbereitet sind bzw. wie hoch der Bedarf an allgemeingültigen Maßnahmen einzuschätzen ist. Wichtig dabei ist die Abschätzung der Auswirkungen verschiedener Veränderungen durch die Elektromobilität auf die menschliche Arbeit, im Sinne von Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit.

Zur Beantwortung der Fragen folgendes Beispiel:

Frage 3.3: Sind durch die Arbeit an Hybrid- und Elektrofahrzeugen Veränderungen im Zusammenhang mit ... **der persönlichen Schutzausrüstung** ... zu erwarten?

Antwortmöglichkeit 1: ... es kommt zwar zu Veränderungen bei der Schutzausrüstung (z. B. Material, Umfang, ...), aber **die Auswirkungen** auf die menschliche Arbeit **sind eher verschwindend klein**, da bisher auch schon mit Schutzausrüstung gearbeitet werden muss. Daher könnte das Kreuz wie folgt gesetzt werden:

Ja Nein / x / _ / _ / _ / _ /

0 2 4 6 8 10

Antwortmöglichkeit 2: ... es kommt zu Veränderungen bei der Schutzausrüstung (Material, Umfang, ...), die **tiefgreifende Auswirkungen** auf die menschliche Arbeit haben, da der Arbeiter vorher ohne Schutzausrüstung gearbeitet hat. Daher könnte das Kreuz wie folgt gesetzt werden:

Ja Nein / _ / _ / _ / _ / x /

0 2 4 6 8 10

Antwortmöglichkeit 3: ... es kommt zu keinen Veränderungen, also gibt es auch **keine Auswirkungen**. Daher könnte das Kreuz wie folgt gesetzt werden:

Ja Nein x / _ / _ / _ / _ /

0 2 4 6 8 10

Inhaltsübersicht

Abschnitt 0 – Allgemeine Fragen	70
Abschnitt 1 – Gefährdungssituation	71
Abschnitt 2 – Belastungsrelevante Aspekte von Arbeitsinhalt und Arbeitsausführung.....	72
Abschnitt 3 – Qualifikatorische Anforderungen	73
Abschnitt 4 – Gestaltung und technische Ausstattung der Arbeitsplätze	74
Abschnitt 5 – Arbeitsorganisation	75

Abschnitt 0 – Allgemeine Fragen

0.1 Wurden im zu untersuchenden Bereich bereits Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen gesammelt?

- viel (3)
- gelegentlich (2)
- selten (1)
- gar nicht (0)

0.2 Wie viele Facharbeiter haben bisher im Werkstattbereich mit Elektrofahrzeugen zu tun?

Anzahl _____

0.3 Wie viele Arbeitsplätze sind derzeit von Arbeiten an Elektrofahrzeugen betroffen?

- keiner
- 1
- 2
- mehr als 2

Abschnitt 1 – Gefährdungssituation

Sind durch die Arbeit an Elektrofahrzeugen Veränderungen im Zusammenhang mit ... zu erwarten?

Auswirkungstiefe

Szenario 1

Szenario 2

Szenario 3

1.1 ... mit elektrischer Gefährdung ... (z. B. Gefährliche Körperströme)

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

1.2 ... mit dem Kontakt zu Gefahrstoffen ... (chemische Gefährdung, z. B. Gase, Flüssigkeiten)

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

1.3 ... mit Brand- und Explosionsgefährdung durch mechanisches Einwirken...

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

1.4 ... mit thermischen Gefährdungen ... (z. B. Überhitzung)

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

Abschnitt 2 – Belastungsrelevante Aspekte von Arbeitsinhalt und Arbeitsausführung

Sind durch die Arbeit an Elektrofahrzeugen Veränderungen im Zusammenhang mit ... zu erwarten?

Auswirkungstiefe

Szenario 1

Szenario 2

Szenario 3

2.1 ... dem Heben und Tragen von Lasten ... (physische Belastung)

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

2.2 ... psychische Belastungen durch den Umgang mit Hochvolttechnik ...

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

2.3 ... der persönlichen Schutzausrüstung ...

(spannungssichere u./o. säurebeständige Kleidung/Handschuhe, Erdung, etc.)

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

Abschnitt 3 – Qualifikatorische Anforderungen

Sind durch die Arbeit an Elektrofahrzeugen Veränderungen im Zusammenhang mit ... zu erwarten?

Auswirkungstiefe

Szenario 1

Szenario 2

Szenario 3

3.1 ... dem Wissen im Umgang mit Strom ...

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

3.2 ... der Ausbildung zur Elektrofachkraft ...

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

3.3 ... der kognitiven Beanspruchung ...

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

3.4 ... dem Schulungsaufwand ...

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

Abschnitt 4 – Gestaltung und technische Ausstattung der Arbeitsplätze

Sind durch die Arbeit an Elektrofahrzeugen Veränderungen im Zusammenhang mit ... zu erwarten?

Auswirkungstiefe

Szenario 1

Szenario 2

Szenario 3

4.1 ... der Schutzausrüstung ...

(spannungssichere u./o. säurebeständige Kleidung/Handschuhe, Erdung, etc.)

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

4.2 ... neuer Handlingsgeräte aufgrund des höheren Gewichts einzelner Fahrzeugkomponenten ...

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

4.3 ... dem Platzbedarf für Lagerung und Entsorgung von speziellen Fahrzeugkomponenten, z. B. HV-Batterien, ...

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

4.4 ... separaten und speziell ausgerüsteter Arbeitsplätze ...

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /	/ / / / / / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

Abschnitt 5 – Arbeitsorganisation

Sind durch die Arbeit an Elektrofahrzeugen Veränderungen im Zusammenhang mit ... zu erwarten?

Auswirkungstiefe

Szenario 1

Szenario 2

Szenario 3

5.1 ... der Auswahl geeigneter Mitarbeiter ... (mit entsprechender Unterweisung)

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

5.2 ... der Einsatzdauer der Mitarbeiter ... (erhöhte Konzentration und Gefährdungssituation)

<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

5.3 ... der Bildung fachübergreifender Teams ...

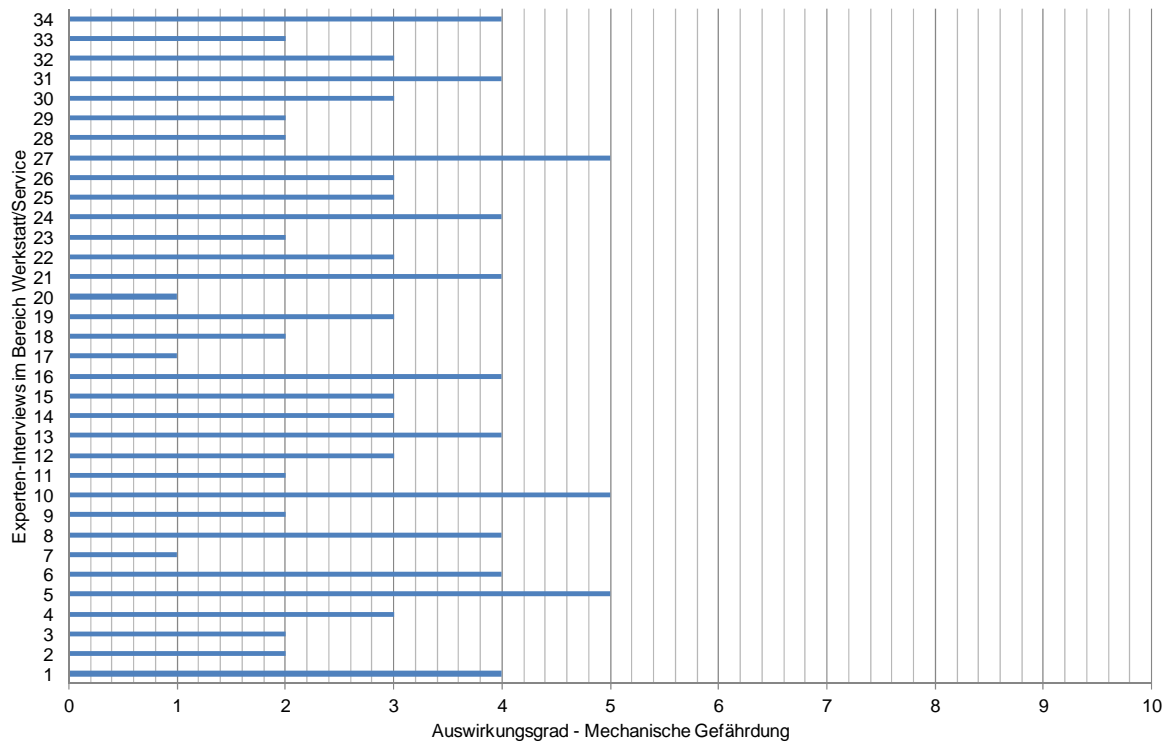
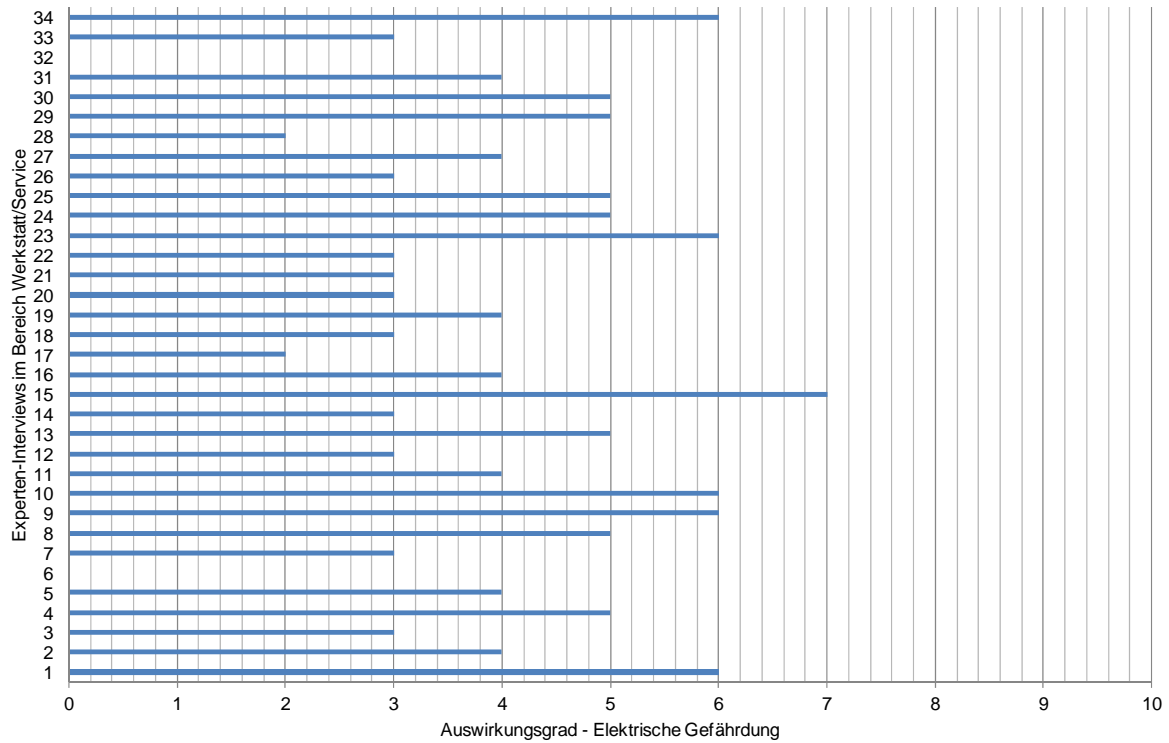
<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /	/ / / / / / / /
	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10	0 2 4 6 8 10

Anhang 2 Ableitung der Städte mit Elektrofahrzeug-Erfahrungen

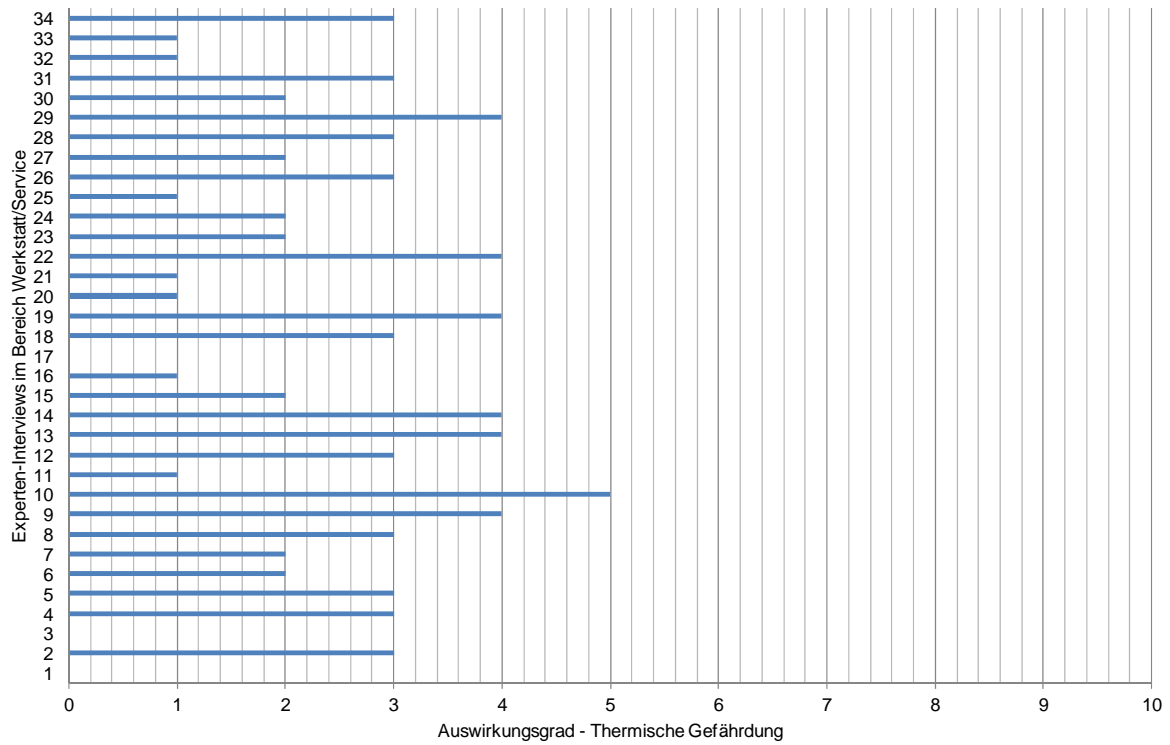
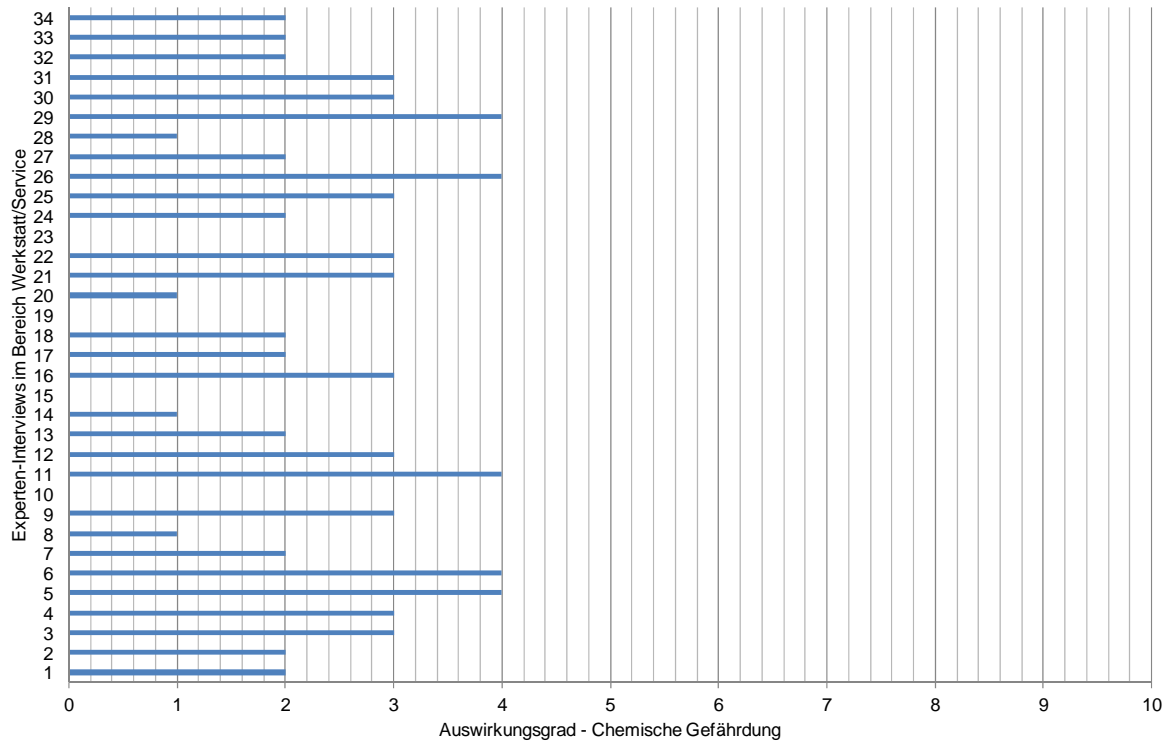
Hersteller	Typ	Akku-Technologie	Pressemeldungen	Stadt
Audi	A1-E-Tron	Lithium-Ionen	09.09.2010: "Audi bringt den elektrisch angetriebenen Kleinwagen A1 E-Tron auf die Straße. Bis Mitte nächsten Jahres werde eine Miniserie von 20 Fahrzeugen in München und Umgebung unterwegs sein, kündigte das Unternehmen an."	München
BMW	Mini-E	Lithium-Ionen	Im Februar 2010 ging in Berlin ein 6-monatiger Flottentest mit 40 Mini E und Vattenfall zu Ende. In München mit 50 Mini E mit Partner Siemens und Stadtwerken München. 31.03.2011: "Das Elektroauto Mini E wird im zweiten Teil des Flottenversuchs in Berlin getestet, an diesem Unterfangen sind die Unternehmen BMW und Vattenfall beteiligt."	Berlin, München
Ford	Focus BEV	Lithium-Ionen	Ford Focus Electric soll 2012 auch auf den deutschen Markt kommen 05.09.2009: "...erster Flottentest soll jedoch bereits im Frühjahr 2010 in London starten..."	beliebig
Honda	Insight		15.02.2010: Kompakter Mild-Hybrid zum kleinen Preis	beliebig
Mercedes	Smart Fortwo electric drive	Lithium-Ionen	Von August 2011 an können Nutzer in Ulm und Neu-Ulm erstmals Smarts auch mit elektrischem Antrieb mieten, allerdings zunächst nur fünf Stück 06.05.2011: "vor Monaten in Betrieb genommenen 50 Smart Fortwo Electric Drive..."	Ulm, Hamburg
Mercedes	Vito E-Cell	Lithium-Ionen	07.05.2010: "50 Mercedes-Benz Vito E-CELL Transporter mit batterieelektrischem Antriebsstrang werden dafür in der Modellregion Stuttgart unterwegs sein und vom Fraunhofer IAO wissenschaftlich begleitet." 02.09.2010: "Im Berliner Flottenversuch, für den nun die ersten fünf von insgesamt 50 Fahrzeugen übergeben werden, sollen wichtige Erkenntnisse für die künftige Baureihe Vito E-Cell von Mercedes-Benz gewonnen werden."	Stuttgart, Berlin
Opel	Ampera	Lithium-Ionen	28.09.2011: Marktstart im November - Opel Ampera: Einfach elektrisch fahren	beliebig
Tazzari ZERO		Lithium-Ionen (Eisenphosphat)	17.11.2010: Der zweisitzige Tazzari Zero mit Lithium-Ionen-Akku und Heckmotor ist schon jetzt zu kaufen.	in 35 Städten
Toyota	iQ EV	Lithium-Ionen	07.07.2010: "Toyota und die Deutsche Bahn integrieren Elektroauto in Carsharing-Flotte." 09.03.2011: "Der Toyota iQ EV soll noch dieses Jahr in Europa erprobt werden und nach Konzernangaben bereits 2012 als Leasingangebot auf den Markt kommen." 30.08.2011: Toyota verabschiedet sich vom Elektroauto - Der japanische Autoriese Toyota will den Hype um E-Autos nicht länger mitmachen. Er glaubt nicht an ihren Erfolg und setzt auf Hybrid-Motoren.	beliebig
VW	Golf blue-e-motion	Lithium-Ionen	11.05.2011: "Erste Golf Blue-E-Motion rollen durch Wolfsburg. Volkswagen startet mit einer Testflotte von zehn VW Elektroautos des Modells VW Golf blue-e-motion." 14.06.2011: "Volkswagen hat den Startschuss für die zweite Erprobungsflotte des Golf Blue-E-Motion gegeben. Insgesamt fünfunddreißig Fahrzeuge werden wir in der Berliner Flotte bis Ende des Jahres erproben." 30.06.2011: "Volkswagen hat in Hannover die dritte Testflotte des Golf Blue-E-Motion an Ministerpräsident David McAllister und Großkunden übergeben."	Berlin, Hannover, Wolfsburg

Anhang 3 Verteilung der Experten-Antworten im Bereich Werkstatt/Service

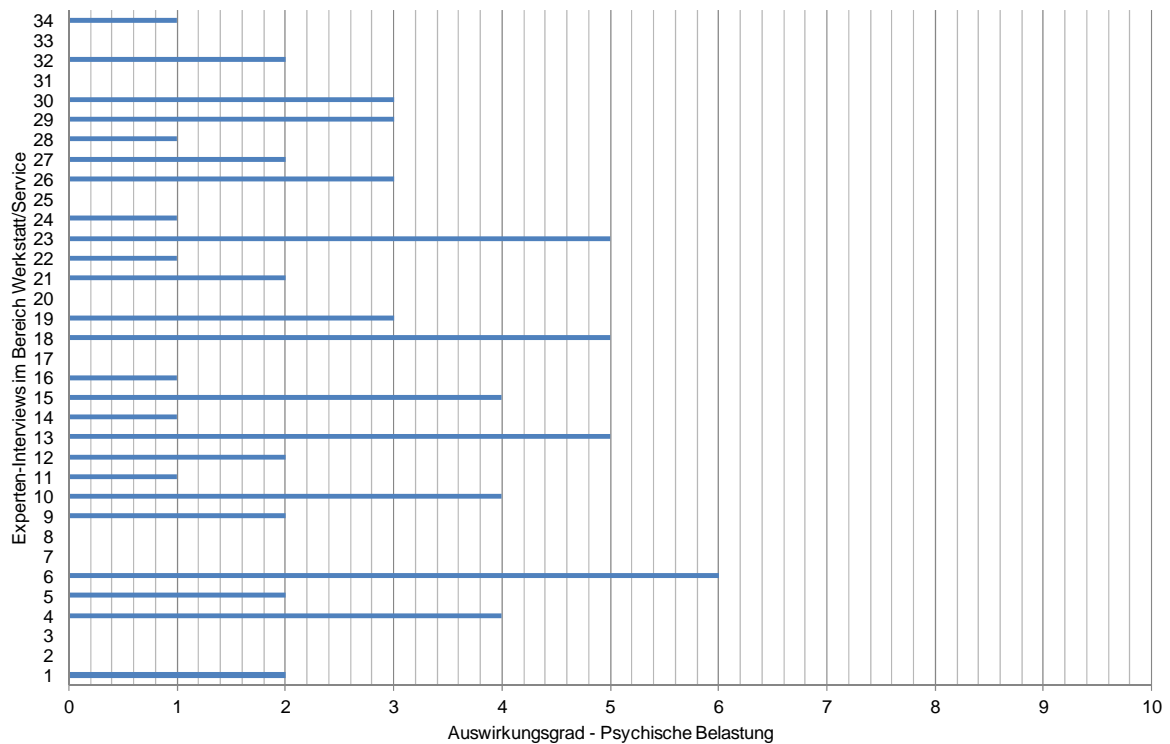
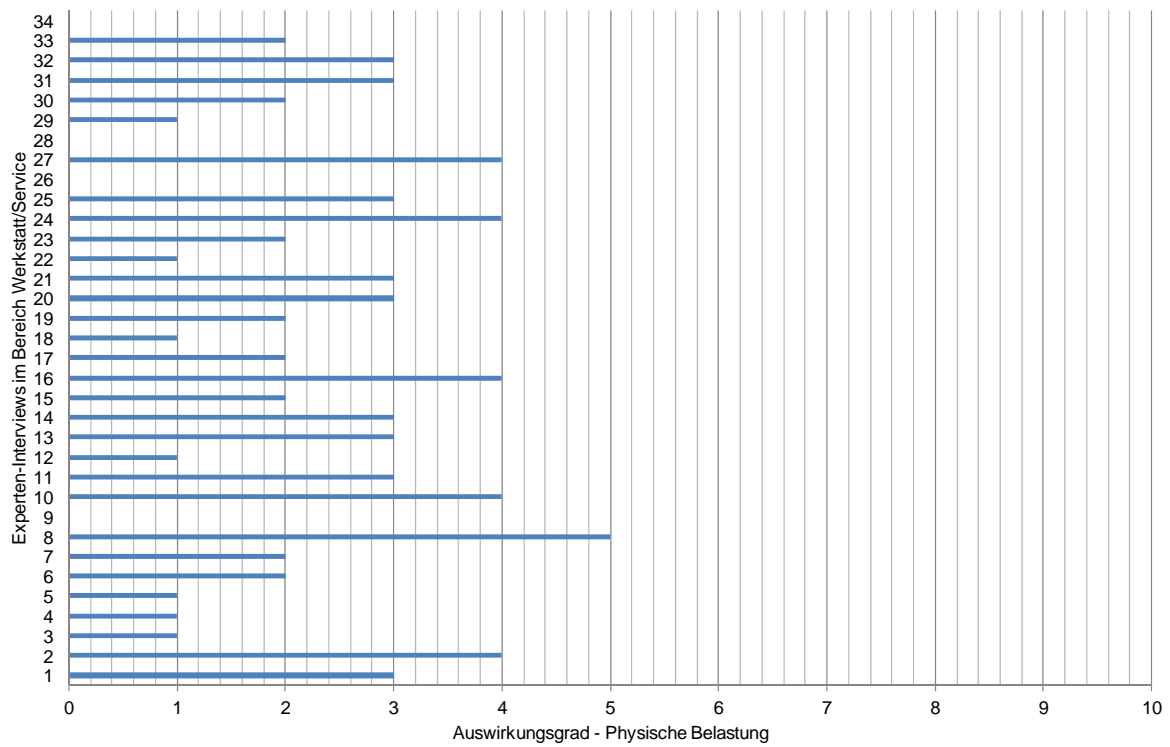
Abschnitt 1 – Gefährdungssituation

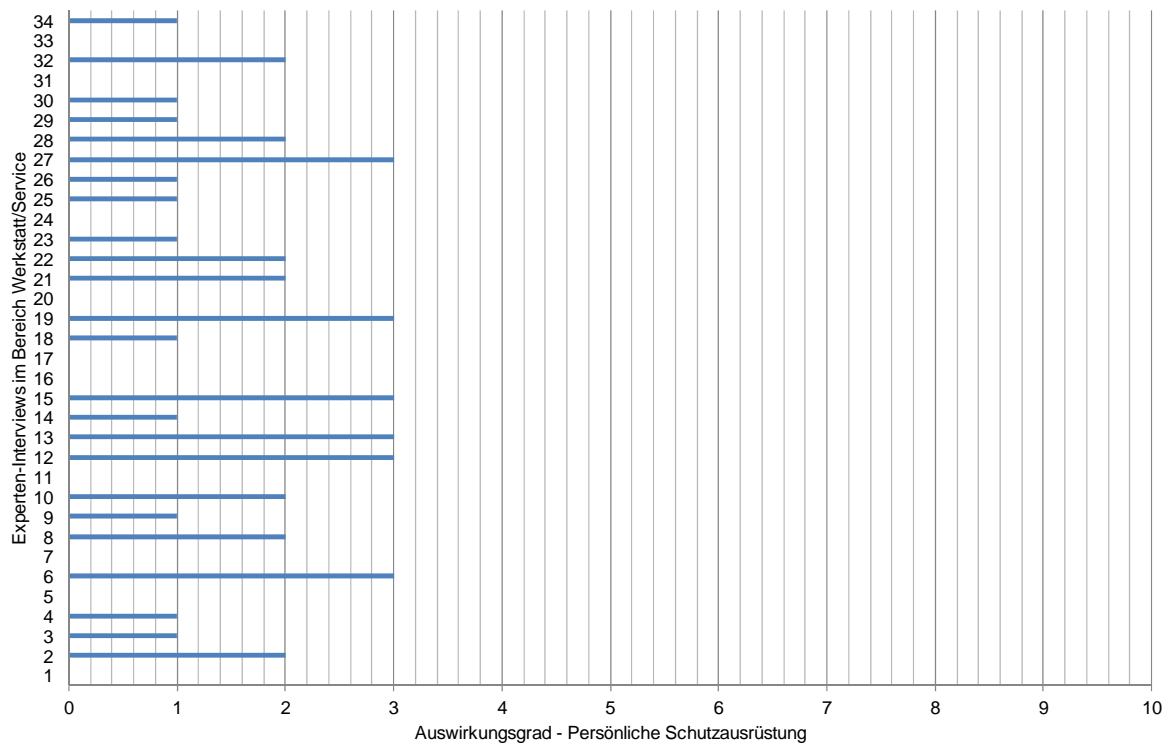


Abschnitt 1 – Gefährdungssituation

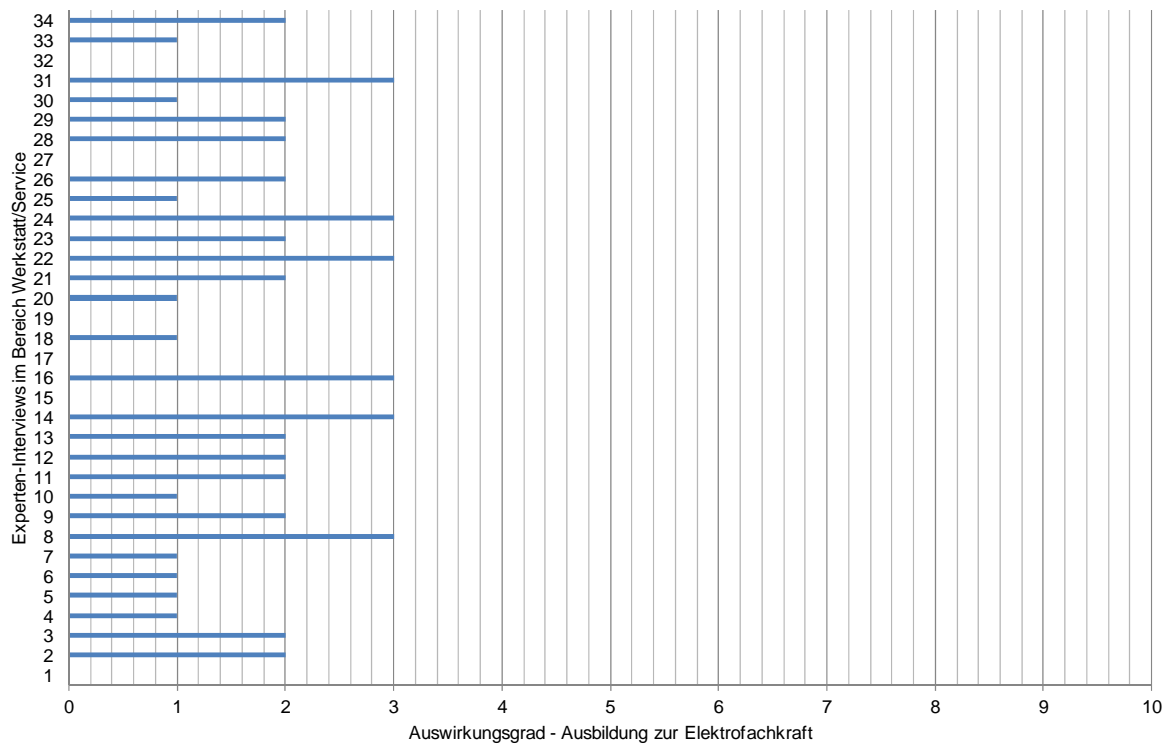
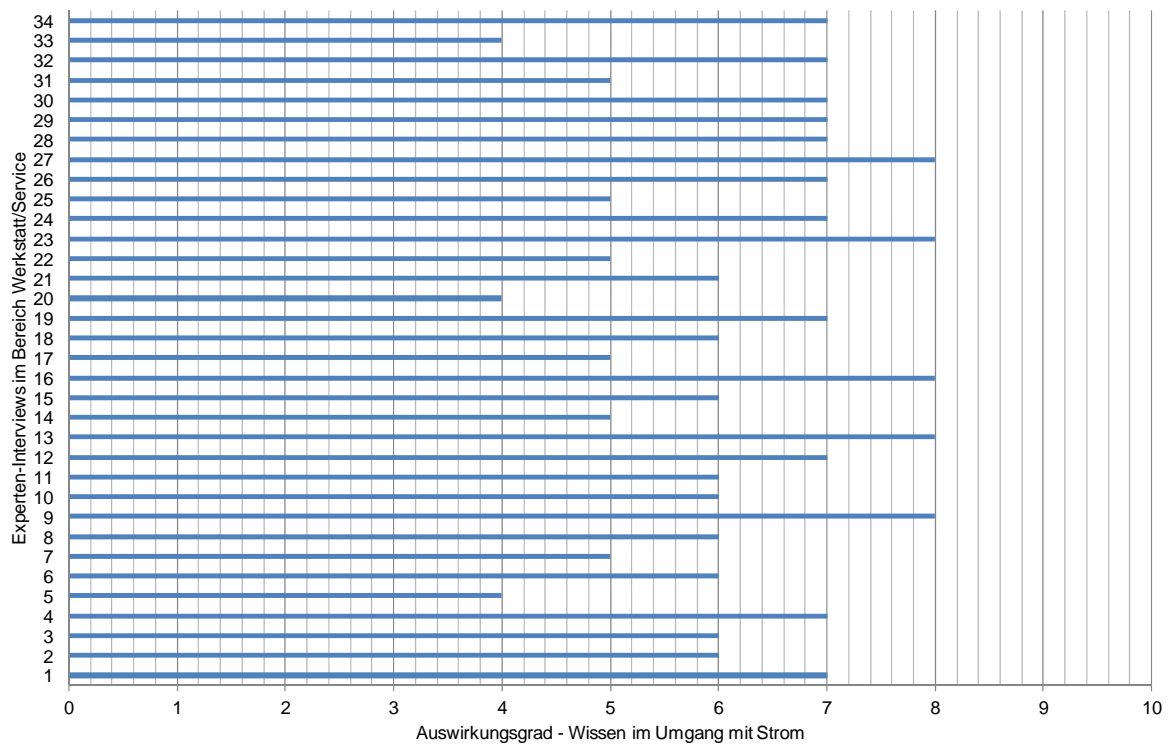


Abschnitt 2 – Belastungsrelevante Aspekte von Arbeitsinhalt und Arbeitsausführung

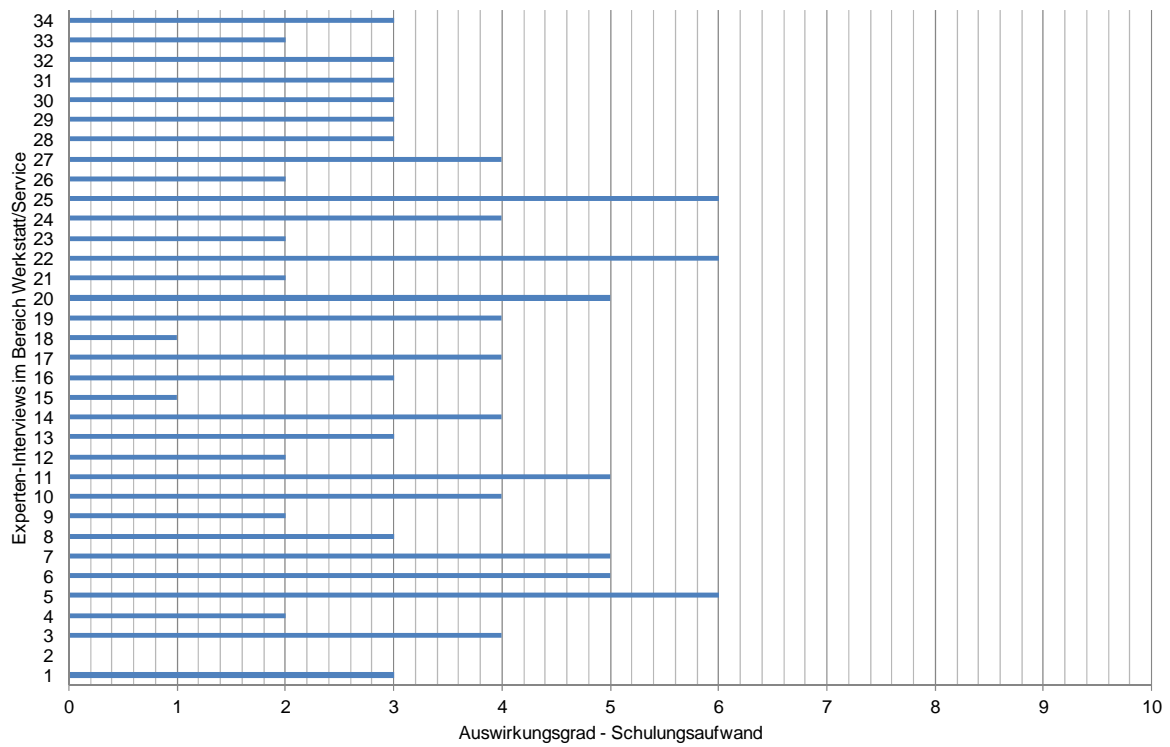
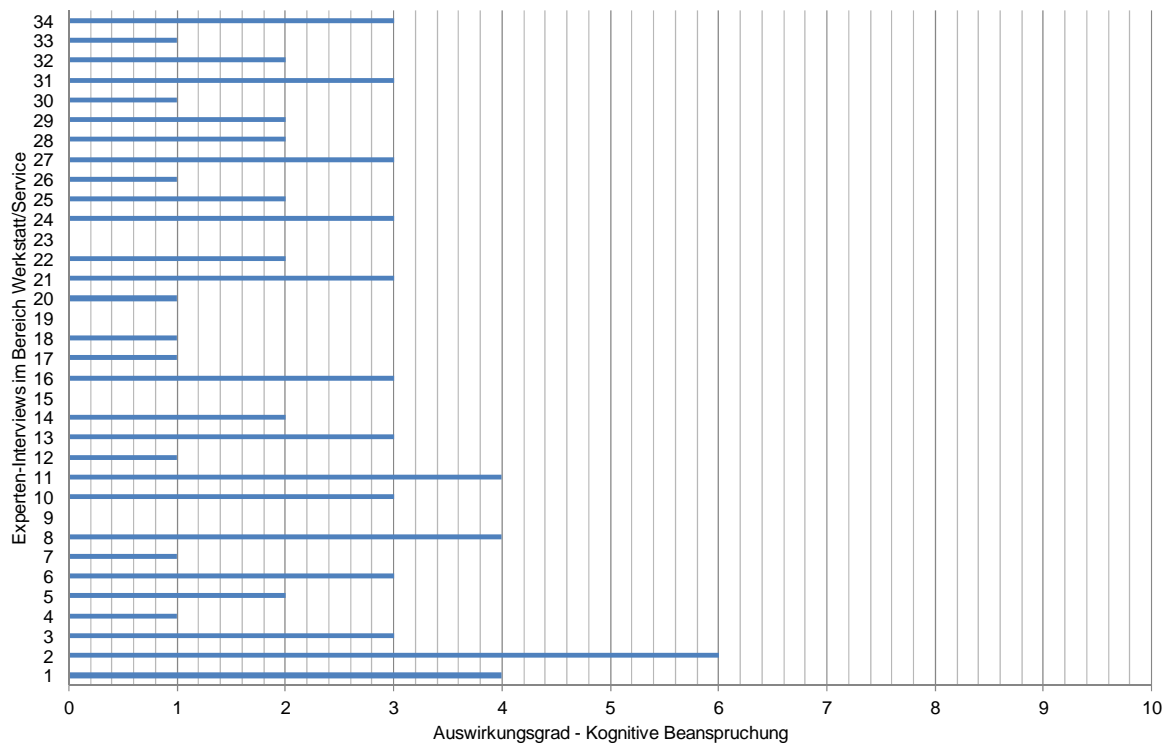


Abschnitt 2 – Belastungsrelevante Aspekte von Arbeitsinhalt und Arbeitsausführung

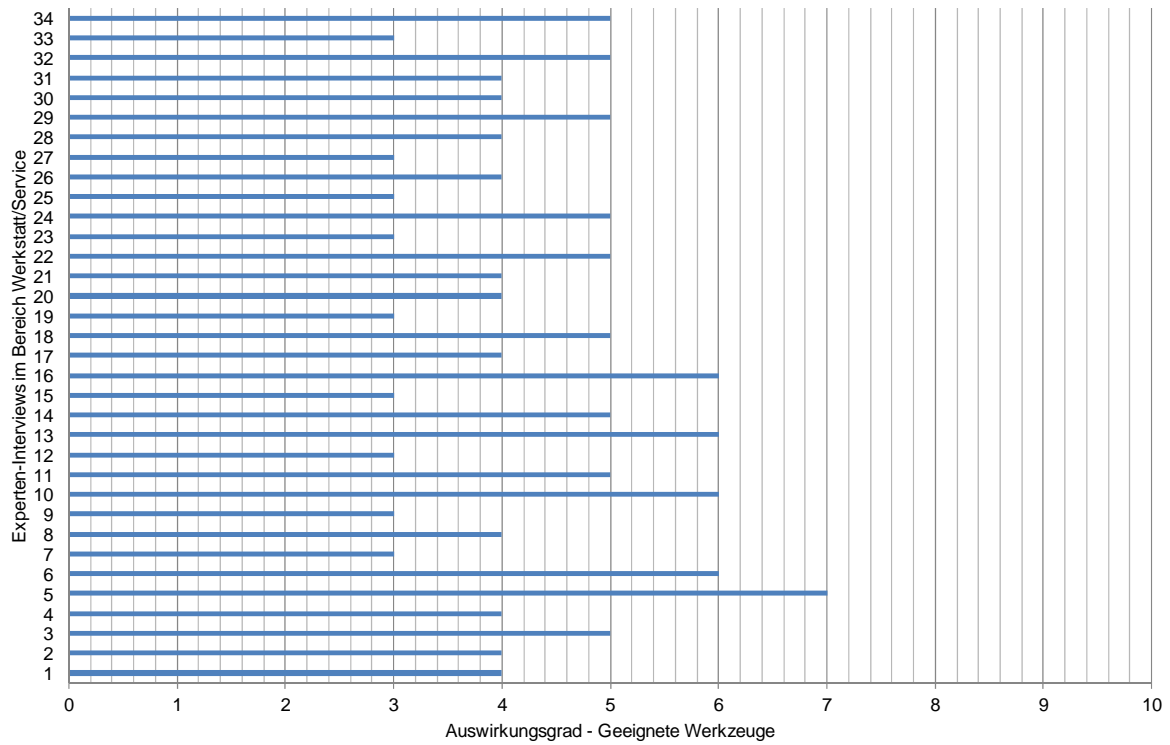
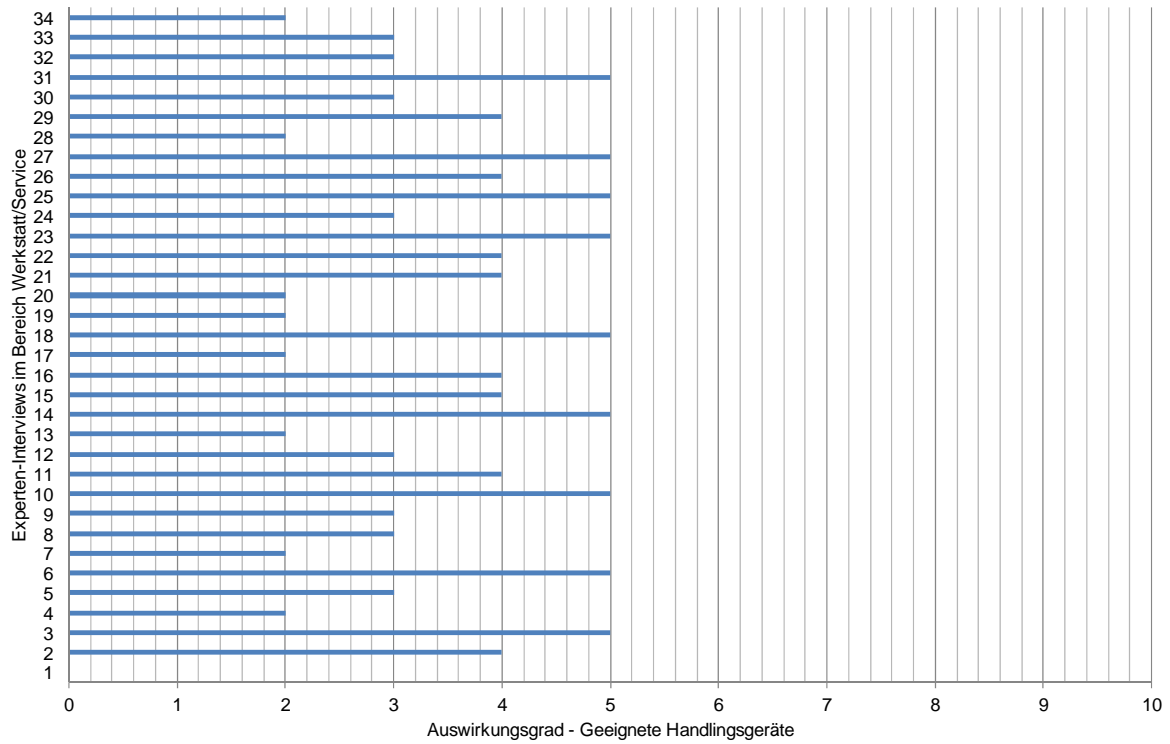
Abschnitt 3 – Qualifikatorische Anforderungen



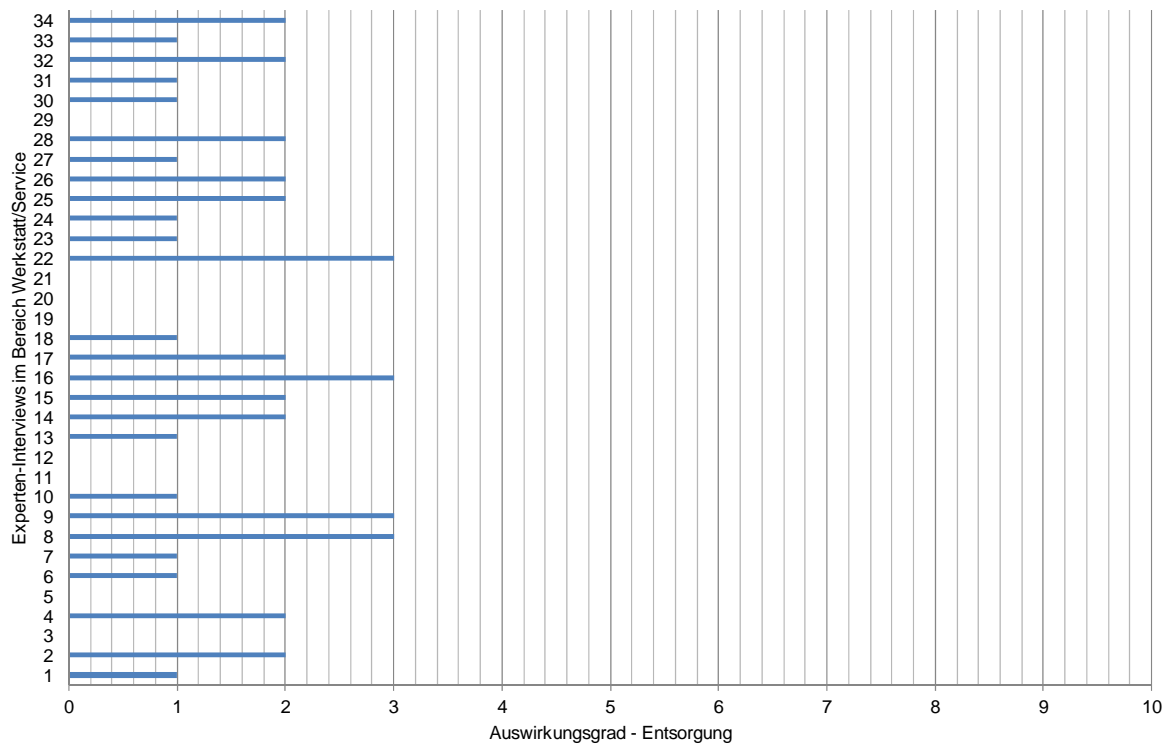
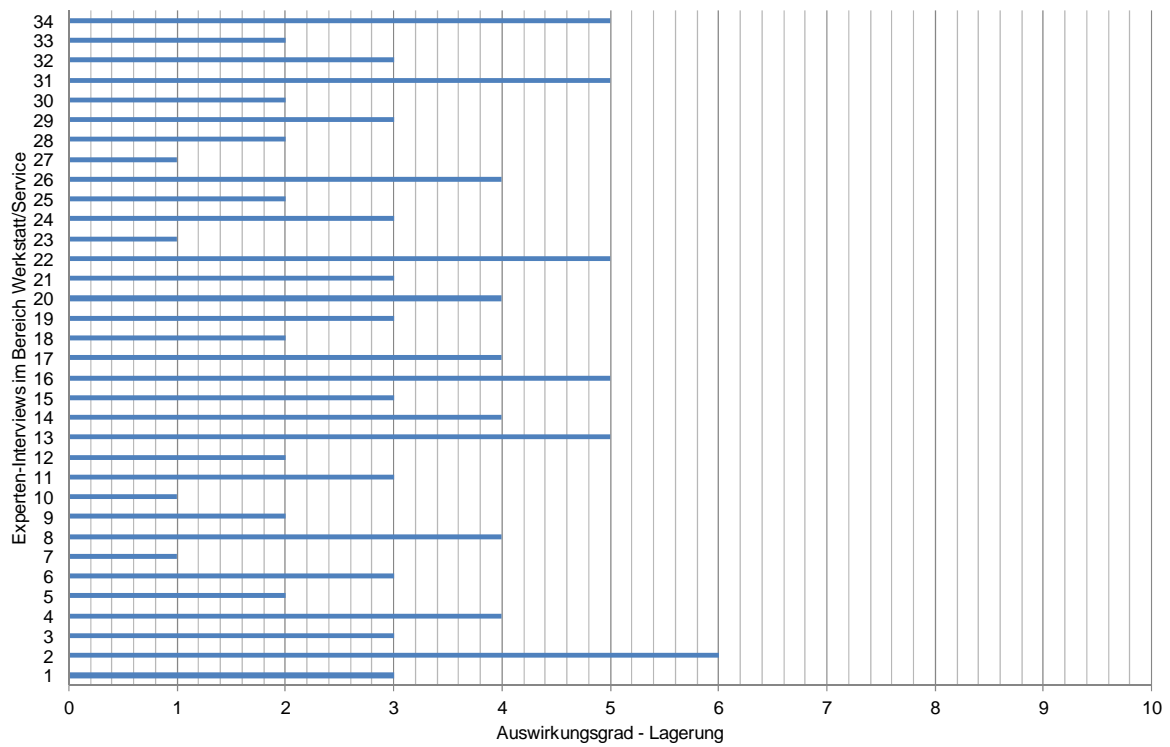
Abschnitt 3 – Qualifikatorische Anforderungen



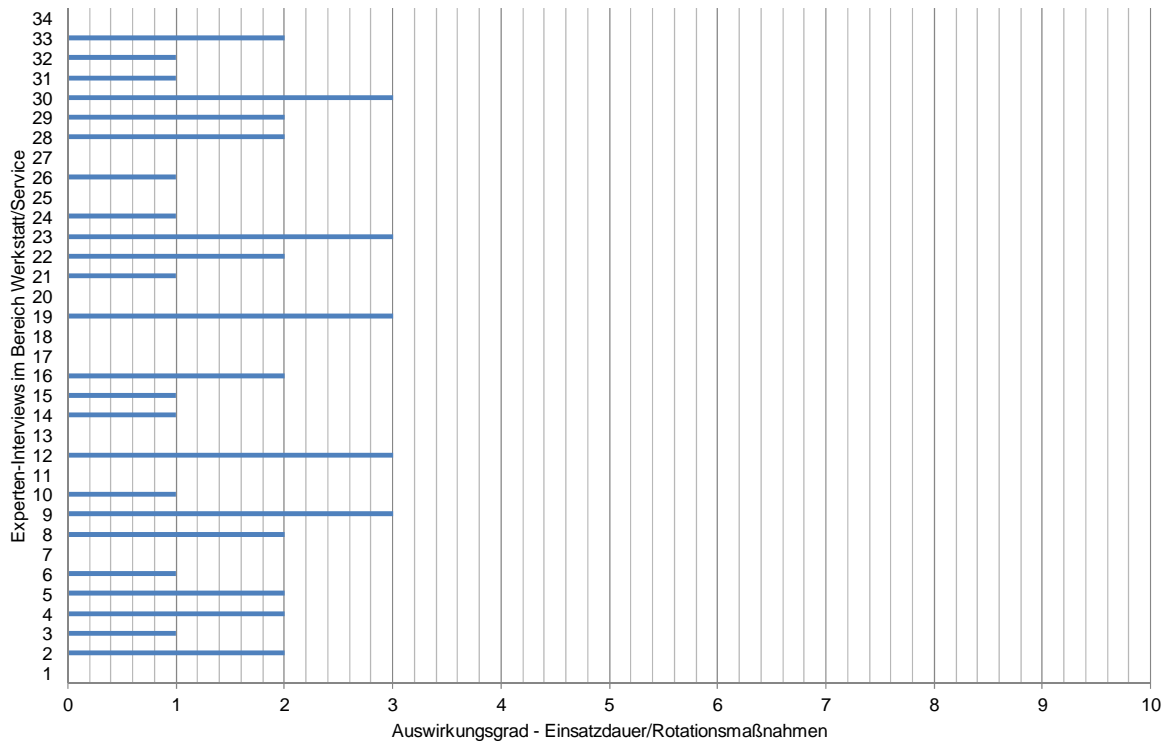
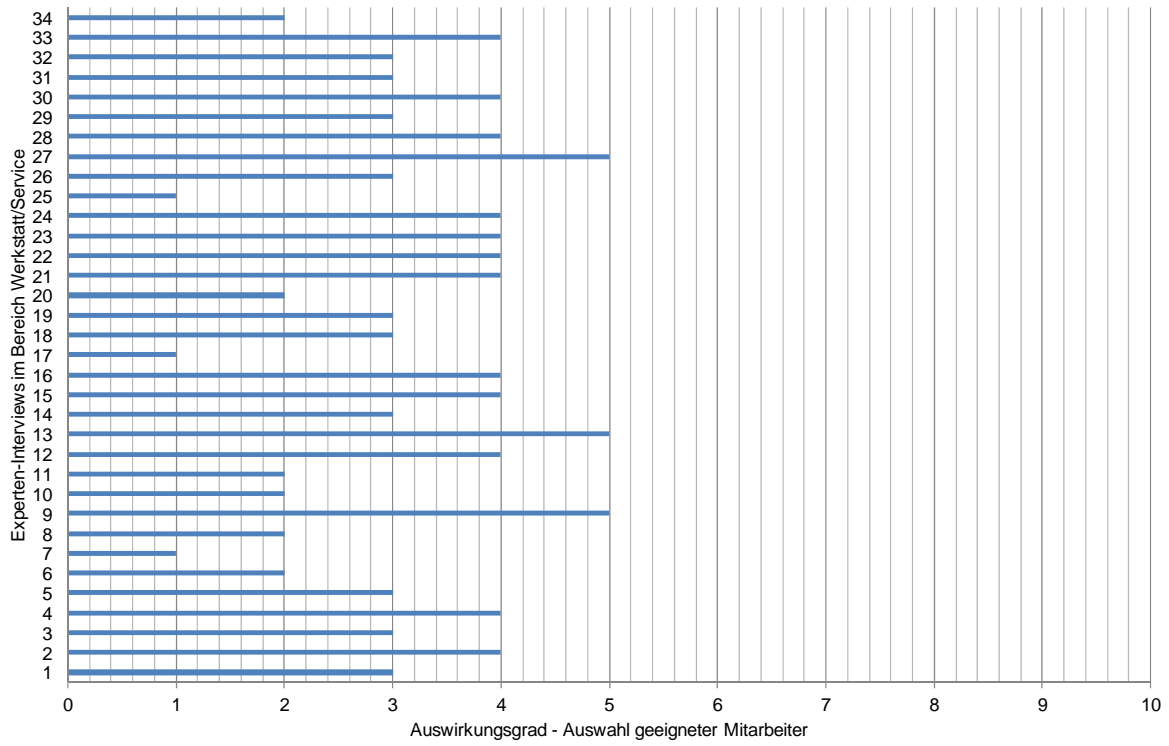
Abschnitt 4 – Gestaltung und technische Ausstattung der Arbeitsplätze



Abschnitt 4 – Gestaltung und technische Ausstattung der Arbeitsplätze



Abschnitt 5 – Arbeitsorganisation



Abschnitt 5 – Arbeitsorganisation

