

# **Modellierung der zukünftigen elektromobilen Wertschöpfungskette und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Stärkung des Elektromobilitätsstandortes NRW (EM1006 – eVchain.NRW)**

**GEMEINSCHAFTLICHER ABSCHLUSSBERICHT**  
September 2014

**Inhalt**

1	Einleitung.....	6
2	Projektstruktur .....	8
3	Analyse der klassischen Wertschöpfungskette (AP 1).....	11
3.1	Grundlagen der Wertschöpfungsanalyse .....	11
3.1.1	Begriffsdefinition .....	11
3.1.2	Modelle zur Wertschöpfungsanalyse.....	13
3.1.3	Allgemeine Wertschöpfungskette der Automobilindustrie .....	15
3.2	Produktstruktur eines Pkw mit konventionellem Antriebsstrang.....	20
3.3	Produktionsprozess eines konventionellen Pkw .....	25
3.3.1	Produktionsprozess im Segment Antriebsaggregat.....	26
3.3.2	Produktionsprozess im Segment Antriebsstrang.....	27
3.3.3	Produktionsprozess im Segment Karosserie und Exterieur .....	28
3.3.4	Produktionsprozess im Segment Fahrwerk .....	29
3.3.5	Produktionsprozess im Segment Interieur.....	30
3.3.6	Produktionsprozess im Segment Elektrik/Elektronik .....	31
3.3.7	Exemplarische Wertschöpfungsverteilung Polo V .....	32
3.4	Identifikation der aktuellen Wertschöpfungsstruktur und -tiefe.....	33
3.4.1	Wertschöpfungsverteilung im Segment Antriebsaggregat.....	34
3.4.2	Wertschöpfungsverteilung im Segment Antriebsstrang.....	35
3.4.3	Wertschöpfungsverteilung im Segment Karosserie und Exterieur .....	36
3.4.4	Wertschöpfungsverteilung im Segment Fahrwerk .....	38
3.4.5	Wertschöpfungsverteilung im Segment Interieur.....	39
3.4.6	Wertschöpfungsverteilung im Segment Elektrik/Elektronik .....	40
3.4.7	Zusammenfassung der Wertschöpfungsverteilung .....	41
4	Produkt- und Prozessanalyse für Elektrofahrzeuge (AP 2).....	43
4.1	Marktrecherche batteriebetriebener Elektrofahrzeuge .....	43
4.2	Produktstruktur eines Pkw mit elektrischem Antriebsstrang .....	47
4.2.1	Schlüsselkomponente Elektromotor .....	48
4.2.2	Schlüsselkomponente Batterie .....	50

4.2.3	Schlüsselkomponente Leistungselektronik.....	53
4.2.4	Schlüsselkomponente Brennstoffzellensystem .....	55
4.2.5	Referenzstruktur eines batteriebetriebenen Elektrofahrzeuges.....	57
4.3	Produktionsstrukturen für Elektrofahrzeuge .....	59
4.3.1	Brown-Field-Ansatz .....	59
4.3.1.1	Vollständige Integration der BEV-Produktion .....	60
4.3.1.2	Integration mit ausgetakteten Prozessen .....	64
4.3.2	Green-Field-Ansatz.....	66
4.3.2.1	ICE-Strategie .....	66
4.3.2.2	Modulintegrator-Strategie .....	67
4.3.2.3	EV-Plattform-Strategie.....	69
4.3.3	Zusammenfassung der Produktionsstrukturen .....	71
4.4	Analyse der Produktionsstrukturen für Schlüsselkomponenten .....	72
4.4.1	Produktionsstrukturen für Elektromotoren .....	72
4.4.2	Produktionsstrukturen für Batterien .....	75
4.4.3	Produktionsstrukturen für Leistungselektronik.....	78
4.4.4	Produktionsstrukturen für Brennstoffzellen.....	81
5	Modellierung der Wertschöpfungskette von Elektrofahrzeugen (AP 3).....	85
5.1	Anpassungsbedarf der Fahrzeugkomponenten .....	85
5.2	Abbildung der zukünftigen elektromobilen Wertschöpfungskette.....	88
5.2.1	Abbildung der Wertschöpfungskette für Elektromotoren .....	88
5.2.2	Abbildung der Wertschöpfungskette für Batterien .....	90
5.2.3	Abbildung der Wertschöpfungskette für Leistungselektronik.....	93
5.3	Prognose der resultierenden Wertschöpfungsverschiebungen.....	95
5.3.1	Veränderungen der Wertschöpfung durch Elektrofahrzeuge .....	96
5.3.1.1	Kostenprognose entfallender und veränderter Fahrzeugkomponenten .....	96
5.3.1.2	Kostenprognose zusätzlicher Fahrzeugkomponenten .....	97
5.3.1.3	Quantitative Wertschöpfungsveränderungen durch Elektrofahrzeuge .....	100
5.3.2	Prognose der Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen .....	102
5.3.3	Prognose der Nachfrageverschiebungen durch Elektrofahrzeuge .....	104
5.4	Erfassung der in NRW vorhandenen Kompetenzen .....	105

---

5.4.1	Analyse der Automobilzulieferindustrie in NRW .....	105
5.4.2	Erstellung von Kompetenzlandkarten .....	107
6	Ableitung von Strategien (AP 4) .....	111
6.1	Analyse des Kompetenzbedarfs für die Schlüsselkomponenten .....	111
6.1.1	Kompetenzbedarf für die Produktion von Elektromotoren .....	111
6.1.2	Kompetenzbedarf für die Produktion von Batteriesystemen.....	113
6.1.3	Kompetenzbedarf für die Produktion der Leistungselektronik .....	116
6.1.4	Kompetenzbedarf für die Produktion von Brennstoffzellensystemen .....	118
6.2	Chancen und Risiken für NRW .....	120
6.3	Vergleich der internationalen politischen Fördersituation.....	124
6.3.1	Staatliche Förderung von Forschung, Entwicklung und Infrastrukturaufbau .....	124
6.3.2	Monetäre Anreize für Kunden.....	127
6.3.3	Nichtmonetäre Anreize für Endkunden.....	129
6.3.4	Bewertung der Fördermaßnahmen.....	131
6.4	Ableitung von Handlungsempfehlungen.....	134
6.4.1	Handlungsempfehlungen für Unternehmen.....	134
6.4.2	Handlungsempfehlungen für Wirtschaftsförderungen .....	138
6.4.3	Handlungsempfehlungen für Politik .....	139
7	Zusammenfassung.....	141
8	Literatur .....	145
9	Anhang.....	158
9.1	Referenzstruktur konventionelles Fahrzeug.....	158
9.2	Produktionsprozess konventionelles Fahrzeug.....	163
9.3	Referenzstruktur batteriebetriebenes Elektrofahrzeug.....	164

## 1 Einleitung

Die aktuelle Situation in der Automobilindustrie ist durch eine Vielzahl von wirtschaftlichen und technologischen Veränderungsprozessen charakterisiert, die einen nachhaltigen Einfluss auf die Strukturen innerhalb dieser Branche ausüben. Einen zentralen Treiber stellt dabei die zunehmende Relevanz von elektrischen Antriebssträngen dar. Im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugantrieben erfordern elektrische Antriebskomponenten wie Elektromotoren, Traktionsbatterien und Leistungselektronik neue Kompetenzen in der Entwicklung und Produktion. In diesem Zusammenhang werden auch neue, bislang branchenfremde Akteure in das etablierte Wertschöpfungs-system der Automobilindustrie Einzug halten. Gleichzeitig bestehen auch für die traditionellen Automobilzulieferer hohe Wachstumspotenziale, sofern diese ihr Produktportfolio konsequent hinterfragen, erweitern und sich erfolgreich am Markt für elektrische Antriebskomponenten positionieren können.

Vor dem Hintergrund dieser Veränderungsprozesse in der Automobilindustrie wird insbesondere das Zulieferland Nordrhein-Westfalen (NRW) einen tiefgreifenden Strukturwandel durchlaufen. Die Automobilindustrie zählt mit einem Umsatz von 29,6 Mrd. € und ca. 85.000 Beschäftigten in ca. 240 Unternehmen zu den Kernindustrien in Nordrhein-Westfalen (NRW) [NRW13]. Für NRW gilt, dass einschließlich der vorgelagerten Beschäftigung jeder siebte Arbeitsplatz vom Automobil abhängt. Pro Jahr werden ca. 800.000 Personenkraftwagen (Pkw) und Nutzfahrzeuge (Nfz) in NRW produziert [NRW14]. Dabei setzt sich die aktuelle Zulieferstruktur derzeit aus vielen kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) zusammen, die unter anderem die drei großen Produktionsstandorte Ford Köln, Opel Bochum und Mercedes Benz in Düsseldorf beliefern.

Aufgrund der Veränderungen durch die Elektromobilität existieren insbesondere für die kleinen und mittelständischen Unternehmen in NRW Risiken, wenn sie sich nicht rechtzeitig auf die zukünftige Marktentwicklung vorbereiten. Dabei besteht für Unternehmen, deren Produktportfolio eine hohe Konzentration auf verbrennungsmotorische Antriebskomponenten aufweist, der größte Handlungsbedarf, um die Zukunftsfähigkeit des Unternehmens und die damit verbundenen Arbeitsplätze zu sichern. Gleichzeitig bietet der Wachstumsmarkt Elektromobilität große Chancen für nordrhein-westfälische Automobilzulieferer, um mit einer entsprechenden Strategie langfristig von der positiven Marktentwicklung profitieren zu können. Eine gute Ausgangsposition dafür stellen die in NRW stark vertretenen Unternehmen und Institutionen mit ausgeprägten Kompetenzen in der Forschung und Entwicklung von Komponenten des elektrifizierten Antriebsstrangs dar.

Die Zielsetzung des Projektes eVchain.NRW bestand darin, die zukünftige elektromobile Wertschöpfungskette zu modellieren und Strategien zur Stärkung des Elektromobilitätsstandortes NRW abzuleiten. Dazu wurde unter anderem die aktuelle Situation der nordrhein-westfälischen Automobilindustrie analysiert und Handlungsempfehlungen für die Entwicklung und Produktion von Elektrofahrzeugen am Standort NRW erarbeitet. Die dem Projekt zugrunde liegende Struktur sowie die Inhalte der Arbeitspunkte werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

Das Projekt eVchain.NRW (**e**lectric **v**ehicle **v**alue **chain** in **NRW**): Modellierung der zukünftigen elektromobilen Wertschöpfungskette und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Stärkung des Elektromobilitätsstandortes NRW wurde im Rahmen des aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) kofinanzierten NRW.Ziel2-Programms „Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung“ aus den Jahren 2007 – 2013 gefördert.

## 2 Projektstruktur

Das Projekt eVchain.NRW (**e**lectric **v**ehicle **v**alue **chain** in **NRW**): Modellierung der zukünftigen elektromobilen Wertschöpfungskette und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Stärkung des Elektromobilitätsstandortes NRW wurde im Zeitraum Juni 2011 bis März 2014 durchgeführt. Das gesamte Projekt ist in verschiedene Arbeitspakete (APs) untergliedert, wie in Abb. 2-1 dargestellt. Als Projektpartner sind das Institut für Kraftfahrzeuge – RWTH Aachen University, die Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen, die ISATEC GmbH sowie die Wirtschaftsförderung Wuppertal beteiligt.

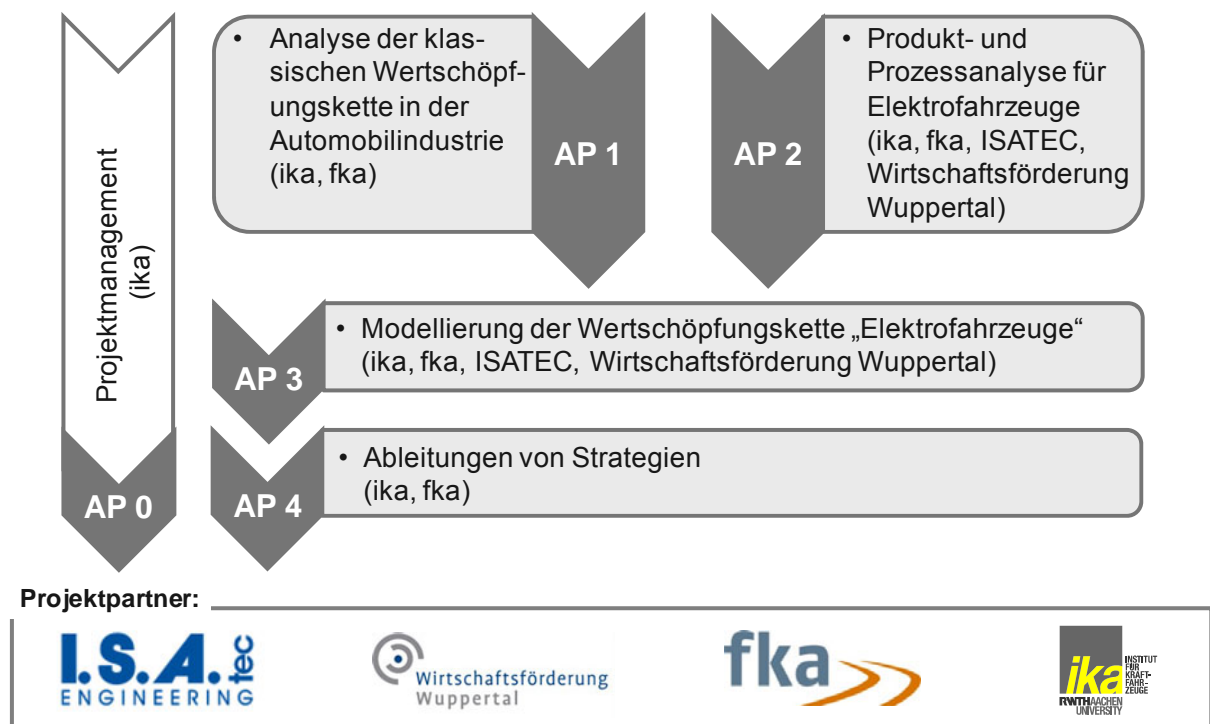


Abb. 2-1: Methodische Vorgehensweise und Projektpartner

In einem ersten Schritt wurde als Ausgangsbasis die klassische Wertschöpfungskette in der Automobilindustrie zur Produktion von konventionellen PKW analysiert (AP 1). Im zweiten Arbeitspaket (AP 2) wurden die Produkt- und die Produktionsstrukturen von Elektrofahrzeugen detailliert untersucht, um die Unterschiede zu den derzeitigen Wertschöpfungsstrukturen herauszustellen. Dabei wurde eine Referenzstruktur für Elektrofahrzeuge erarbeitet. Mithilfe der Ergebnisse der ersten beiden Arbeitspakete wurde in einem nächsten Schritt die zukünftige Wertschöpfungskette für Elektrofahrzeuge erarbeitet (AP 3) und modelliert. Darauf aufbauend wurden die zu erwartenden Wertschöpfungsverschiebungen durch die Elektromobilität prognostiziert. Innerhalb des abschließenden letzten Arbeitspunktes (AP 4) wurden die Chancen und Risiken der Elektromobilität für den Automobilstandort NRW untersucht sowie Handlungsempfehlungen und Strategien für die relevanten Akteure abgeleitet. Die detaillierten Inhalte der einzelnen Arbeitspunkte werden in den folgenden Abschnitten näher vorgestellt.

Gegenstand des ersten Arbeitspunktes war die Analyse der Wertschöpfungskette von Fahrzeugen mit konventionellem Antriebsstrang. Dazu wurden zunächst die erforderlichen theoretischen Grundlagen der Wertschöpfungsanalyse erarbeitet und die allgemeine Wertschöpfungskette der Automobilindustrie dargestellt. Anschließend wurde die Struktur eines Pkw mit konventionellem Antriebsstrang untersucht. Darauf aufbauend wurde eine Referenzstruktur eines Fahrzeugs mit verbrennungsmotorischem Antrieb erstellt. In einem nächsten Schritt wurde der Produktionsprozess von konventionellen Pkw abgebildet. Abschließend wurde die aktuelle Wertschöpfungsstruktur und -tiefe für die einzelnen Fahrzeugsysteme und -module identifiziert.

Innerhalb des zweiten Arbeitspunktes wurden die Produkt- sowie die erforderlichen Produktionsstrukturen von Elektrofahrzeugen untersucht. Zur Analyse der Produktstruktur wurde in einem ersten Schritt eine Marktrecherche über die derzeit weltweit angebotenen batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge durchgeführt. Aufbauend auf diesem Marktüberblick wurden die beiden Elektrofahrzeuge Mitsubishi i-MiEV und Nissan Leaf als Referenzfahrzeuge ausgewählt. Weiterer Bestandteil des zweiten Arbeitspunktes war die Analyse der Produktionsstruktur für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge mit der Zielsetzung einer zukünftigen Serienproduktion. Dabei wurden verschiedene Produktionsstrategien und Realisierungsformen für eine Produktion von Elektrofahrzeugen untersucht. Darüber hinaus wurde die Produktionsstruktur für die Schlüsselkomponenten Elektromotor, Batterie, Leistungselektronik und Brennstoffzelle detaillierter analysiert, indem die einzelnen Produktionsschritte dieser Komponenten beschrieben wurden.

Innerhalb des dritten Arbeitspunktes wurde zunächst der resultierende Anpassungsbedarf bei den Fahrzeugkomponenten (z. B. Entfall von Bauteilen, Neuteile, Übernahmeteile) identifiziert. In einem nächsten Schritt wurde die Wertschöpfungskette für die Schlüsselkomponenten Elektromotor, Batterie und Leistungselektronik untersucht. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde die zukünftige elektromobile Wertschöpfungskette modelliert. Durch einen Vergleich mit der in AP1 analysierten Wertschöpfungskette konventioneller Fahrzeuge wurden die durch Elektrofahrzeuge resultierenden Wertschöpfungsveränderungen dargestellt und in einem Wertschöpfungsmodell quantitativ abgebildet. Zur Analyse der derzeitigen Situation der Automobilzulieferer in NRW in Bezug auf die elektromobile Wertschöpfungskette wurde zudem eine Unternehmensdatenbank aufgebaut. Diese umfasst die regional in NRW vorhandenen Automobilzulieferer und beinhaltet Angaben zu deren derzeitigen Produktportfolio. Darauf aufbauend wurde eine Kompetenzlandkarte zur Darstellung der aktuellen Kompetenzsituation in NRW erstellt.

Zielsetzung des vierten Arbeitspunktes war es, Handlungsempfehlungen und Strategien für Fahrzeughersteller und -zulieferer in NRW aufzuzeigen, um sich erfolgreich im Bereich der Elektromobilität zu positionieren. In einem ersten Schritt wurde dazu der Kompetenzbedarf für die fokussierten Schlüsselkomponenten (Batteriesystem, Elektromotor, Leistungselektronik, Brennstoffzelle) analysiert. Durch einen Abgleich mit dem im dritten Arbeitspunkt erstellten Kompetenzprofil wurden Kompetenzlücken in NRW identifiziert. In einem nächsten Schritt wurden die aus der Verschiebung der Kompetenzanforderungen resultierenden



Chancen und Risiken für die Automobilzulieferer in NRW untersucht. Zudem wurde im Rahmen des vierten Arbeitspunktes eine Übersicht über die internationale politische Fördersituation im Bereich der Entwicklung und Produktion von Elektrofahrzeugen erstellt. Abschließend wurden für die Interessensvertreter der Wirtschaftsförderungen sowie für relevante politische Akteure Handlungsoptionen dargestellt, um die Attraktivität des Elektromobilitätsstandortes NRW zu erhöhen.

### 3 Analyse der klassischen Wertschöpfungskette (AP 1)

Gegenstand des ersten Arbeitspunktes war die Analyse der Wertschöpfungskette von Fahrzeugen mit konventionellem Antriebsstrang. Dazu wurden zunächst die erforderlichen theoretischen Grundlagen der Wertschöpfungsanalyse erarbeitet und die allgemeine Wertschöpfungskette der Automobilindustrie dargestellt. Anschließend wurde die Struktur eines Pkw mit konventionellem Antriebsstrang untersucht. Darauf aufbauend wurde eine Referenzstruktur eines Fahrzeugs mit verbrennungsmotorischem Antrieb erstellt. In einem nächsten Schritt wurde der Produktionsprozess von konventionellen Pkw abgebildet. Abschließend wurde die aktuelle Wertschöpfungsstruktur und -tiefe für die einzelnen Fahrzeugsysteme und -module identifiziert. Die Ergebnisse des ersten Arbeitspunktes werden im vorliegenden Kapitel zusammenfassend dargestellt, vgl. Abb. 3-1.

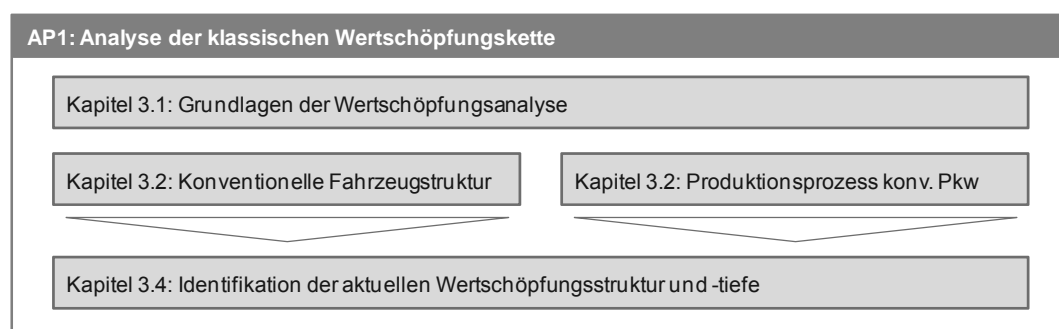


Abb. 3-1: Gliederung Kapitel 3 – Analyse der klassischen Wertschöpfungskette

#### 3.1 Grundlagen der Wertschöpfungsanalyse

In einem ersten Schritt werden die notwendigen theoretischen Grundlagen für die Analyse von Wertschöpfungsketten dargestellt. Im Folgenden wird zunächst der Wertschöpfungsbe- griff für den Kontext dieses Projektes definiert. Anschließend werden das Geschäftssystem sowie die Wertkette und das Wertsystem als Modelle zur Wertschöpfungsanalyse vorgestellt. Zudem wird die allgemeine Wertschöpfungskette der Automobilindustrie aufgezeigt.

##### 3.1.1 Begriffsdefinition

Der Begriff Wertschöpfung wurde ursprünglich im Kontext der Volkswirtschaftslehre verwendet und bezeichnet den Wert, den eine Wirtschaftseinheit (z. B. Unternehmen oder Volkswirtschaften) zu den Vorleistungen anderer Wirtschaftseinheiten hinzufügt [FIN99]. Vereinfacht kann Wertschöpfung daher als Differenz zwischen dem Wert der abgegebenen Wirtschaftsleistungen und dem Wert der Vorleistungen von anderen Unternehmen definiert werden. Allerdings existieren in der traditionellen Kostenrechnung verschiedene Fassungen für die Definition des Wertschöpfungsbegriffs. Dies liegt in den unterschiedlichen Eingrenzungen von Vor- und Abgabeleistungen begründet. Abhängig von der Begriffsinterpretation können bei der Berechnung signifikante Unterschiede entstehen. [KRA05, MEY05]

Bei der Abgrenzung wird prinzipiell die Wertschöpfung im „engeren Sinne“ sowie die Wertschöpfung im „weiteren Sinne“ unterschieden, wobei Letztere lediglich die Materialkosten als Vorleistung heranzieht. Im Gegensatz dazu werden bei der Wertschöpfung im „engeren Sinne“ Betriebs- und Hilfsstoffe, Dienstleistungen, abnutzbare Gebrauchsgüter und Immaterialgüter in die Vorleistungen einbezogen. Ähnlich verhält es sich mit den Abgabeleistungen, welche sich bei der engeren Fassung aus den Umsatzerlösen zuzüglich der Bestandsveränderungen zusammensetzen. Im Rahmen der Abgabeleistungen im „weiteren Sinne“ werden dann sukzessive aktivierte Eigenleistung, Zinserlöse und andere betriebliche Erträge angerechnet. Ist die Summe der Vorleistungen höher als die der Abgabeleistungen wird nicht von Wertschöpfung, sondern von Wertvernichtung gesprochen. [KRA05]

Der wesentliche Unterschied zwischen den Größen Wertschöpfung und Gewinn sind die Kosten des internen Faktoreinsatzes. Diese Kosten setzen sich aus Personalkosten, Zinsen an Fremdkapitalgeber und Steuern zusammen. Sind sie niedriger als die Wertschöpfung, erzielt das Unternehmen einen Gewinn. Liegt der umgekehrte Fall vor, so muss das Unternehmen Verluste verbuchen, vgl. Abb. 3-2. [KRA05]

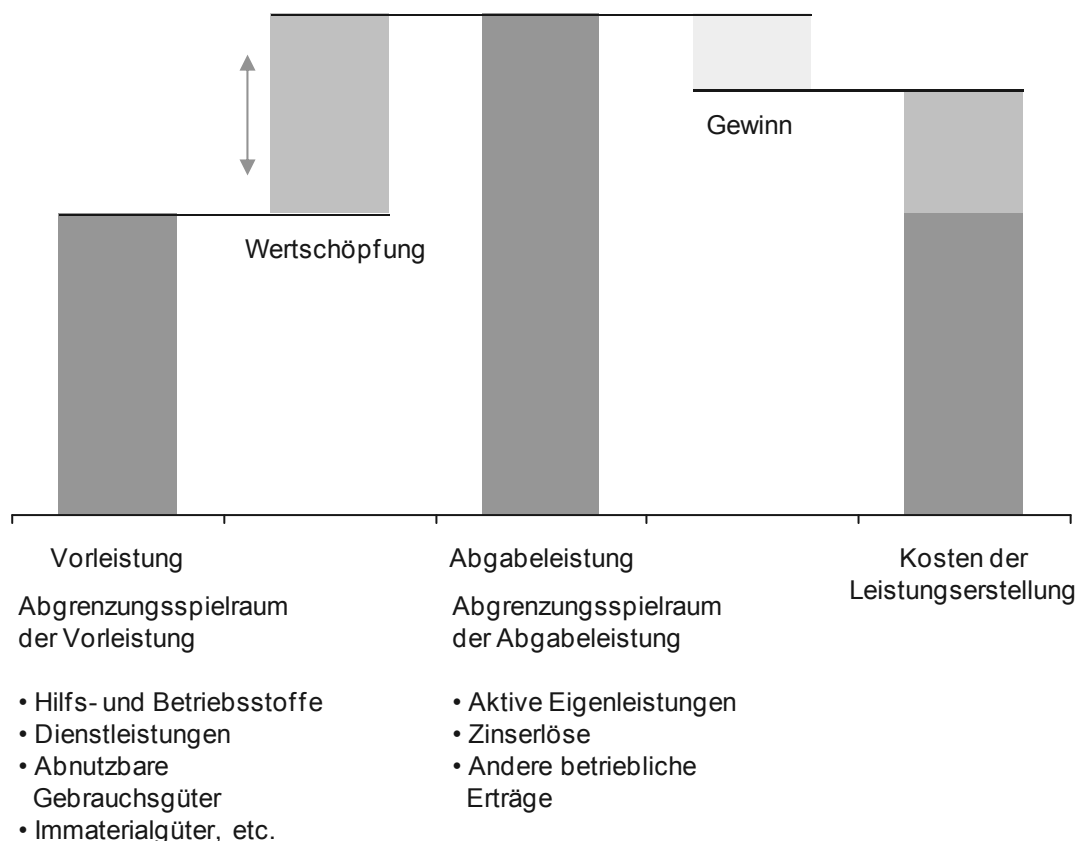


Abb. 3-2: Unterscheidung zwischen Wertschöpfung und Gewinn [KRA05]

Neben einer rein quantitativen Betrachtung der Wertschöpfung auf Unternehmensebene wird der Wertschöpfungsbegriff insbesondere auch im Zusammenhang mit Unternehmensprozes-

sen verwendet [FIN99]. Um die unternehmerischen Aktivitäten und die damit verbundene Wertschöpfung analysieren zu können, ist eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Wertschöpfungsschritte notwendig. Im folgenden Unterkapitel werden daher Modelle vorgestellt, mit denen die zur Erstellung und zum Vertrieb eines Produktes erforderlichen Wertschöpfungsaktivitäten von Unternehmen abgebildet und untersucht werden können.

### 3.1.2 Modelle zur Wertschöpfungsanalyse

Im strategischen Management haben sich zur Darstellung und Analyse von Wertschöpfungsaktivitäten vor allem die Modelle des Geschäftssystems und der Wertkette etabliert. [HUN08]

Das Modell des Geschäftssystems wurde von der Unternehmensberatung McKinsey entwickelt und basiert auf der Annahme, dass ein Unternehmen aus einer Verknüpfung von physisch und technologisch diversifizierbaren Funktionen besteht. Die Analyse der einzelnen Funktionen und der Vergleich der jeweiligen Funktion mit dem Wettbewerb ermöglichen eine Beurteilung der Qualität des unternehmerischen Handelns. Beim Modell des Geschäftssystems werden jedoch übergreifende Unternehmensprozesse anstelle von einzelnen Aktivitäten betrachtet, da der Analysefokus auf unternehmensstrategischen Aspekten liegt. Dabei werden weder die Verbindungen, noch die genaue Abgrenzung der einzelnen Funktionen dargestellt. Abb. 3-3 zeigt die Darstellung eines allgemeinen Geschäftssystems, welches sich lediglich aus den Kernfunktionen eines Unternehmens zusammensetzt. [THU05]



Abb. 3-3: Darstellung eines allgemeinen Geschäftssystems [HUN08]

Zur Optimierung der Geschäftsprozesse und der Realisierung von Wettbewerbsvorteilen können zum einen die einzelnen Funktionen verbessert und zum anderen die Konfiguration des gesamten Geschäftsprozesses überarbeitet werden. Um diese Potenziale auszuschöpfen, muss das allgemeine Modell des Geschäftssystems in weitere Unterfunktionen differenziert und an die individuellen Charakteristika des jeweiligen Unternehmens angepasst werden. Neben den bereits beschriebenen Optimierungspotenzialen lässt sich das Modell des Geschäftssystems zusätzlich für Ressourcen- und Fähigkeitsanalysen heranziehen. [THU05]

Als Weiterentwicklung des Modells des Geschäftssystems hat Porter 1985 das Modell der Wertkette vorgestellt, welche heute in einer Vielzahl von Anwendungen zum Einsatz kommt. Porter definiert ein Unternehmen, in Analogie zum Geschäftssystem, als ein Gefüge aus Aktivitäten, die nötig sind, um Güter entwickeln, produzieren, vermarkten, ausliefern und warten zu können. Dabei werden die Wertaktivitäten in primäre und unterstützende Aktivitäten unterteilt. Zu den Primäraktivitäten zählen alle Funktionen, die direkt an der Erstellung sowie

der Distribution von Produkten oder Dienstleistungen beteiligt sind. Sie sind grundsätzlich für jedes Unternehmen gültig und lassen sich in Eingangslogistik, Produktion, Ausgangslogistik, Marketing und Vertrieb sowie Kundenservice unterteilen. Branchenspezifisch diversifizieren sich die Primäraktivitäten durch unterschiedliche Schwerpunkte. Die unterstützenden Aktivitäten sind definiert als die Aktivitäten, die das Ausführen der Primäraktivitäten ermöglichen. Sie umfassen die Unternehmensinfrastruktur, die Personalwirtschaft, die Technologieentwicklung und die Beschaffung. Obwohl die unterstützenden Tätigkeiten lediglich Hilfsfunktionen umfassen können sie ebenfalls zur Differenzierung eines Unternehmens beitragen und somit Wettbewerbsvorteile generieren. [POR04]

Abb. 3-4 stellt die Grundstruktur der Wertkette nach Porter dar und verdeutlicht den Zusammenhang zwischen unterstützenden und primären Aktivitäten. Dabei weisen die gestrichelten Linien darauf hin, dass die Schwerpunkte bei der Aufteilung der unterstützenden Aktivitäten bei verschiedenen Primäraktivitäten liegen können. Monetär betrachtet stellt die Wertkette den Gesamtbetrag dar, den ein Kunde für eine erbrachte Leistung zu zahlen bereit ist. Dieser setzt sich aus den Kosten der Wertaktivitäten und der Gewinnspanne zusammen. Nach Porter sind produzierende Unternehmen zudem in einem Wertsystem eingebunden. Darin ergänzen sich die Wertketten jedes am Wertschöpfungsprozess beteiligten Unternehmens und beschreiben so die gesamten Aktivitäten der Leistungserstellung vom Rohstoff bis zum Endprodukt. [POR04]

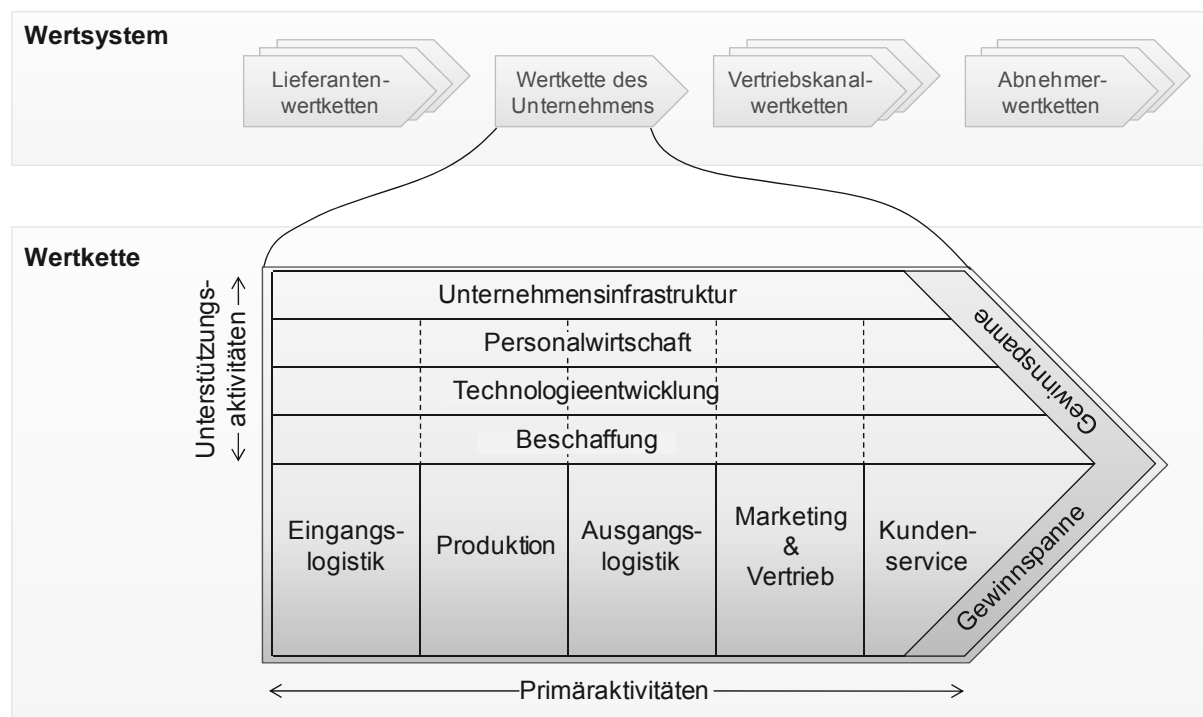


Abb. 3-4: Wertsystem und Wertkette nach Porter [POR04]

Der Nutzen der Wertkette ist eine zweckmäßige Abbildung des Unternehmens zur Analyse von Wettbewerbsvorteilen. Zum optimalen Einsatz muss die Struktur der Wertkette unterneh-

mensspezifisch angepasst und weitere Unterteilungen sowie Ebenen eingefügt werden. Das Modell der Wertkette lässt sich aus der Strategieperspektive in den „market-based view“ einordnen. Wettbewerbsvorteile resultieren nach dieser Sichtweise aus einer Kostenführerschaft oder der Realisierung von Differenzierungspotenzialen gegenüber dem Wettbewerb. Im Rahmen der Analyse wird somit konkret nach dem Kostenverhalten und dem Potenzial zur Leistungsdifferenzierung von Wertaktivitäten gesucht, wobei diese Betrachtung und das Heranziehen der Wertkette als Gestaltungsinstrument sowohl ex post als auch ex ante geschehen kann [KRA05].

Auf Grund der Vielzahl an Lieferanten für komplexe Produkte ist die Darstellung eines gesamten Produktenstehungsprozesses im Wertsystem unübersichtlich. Um dennoch eine schnell erschließbare, unternehmensübergreifende Darstellung generieren zu können, wird in der Literatur und in der Unternehmenspraxis der Begriff der Wertschöpfungskette verwendet. Sie ähnelt im funktionalen Aufbau stark dem Geschäftssystem und verzichtet auf die Unterteilung in primäre und unterstützende Aktivitäten. Dabei werden die wertschöpfenden Aktivitäten, welche an einem Produkt oder einer Dienstleistung verrichtet werden, sequentiell verknüpft. Die Aktivitäten stehen dabei in einer Kunden-Lieferanten-Beziehung und können in einem einzelnen Unternehmen oder unternehmensübergreifend stattfinden. Auf eine strikte Trennung der einzelnen Aktivitäten nach involvierten Unternehmen wird dabei verzichtet, da der gesamte Fokus auf dem Produkt oder der Dienstleistung liegt. Da die Begriffe Wertkette und Wertschöpfungskette in der Literatur häufig synonym verwendet werden, soll an dieser Stelle festgehalten werden, dass im weiteren Verlauf des Berichts das Modell der Wertschöpfungskette zu Grunde gelegt wird. Dies ist durch die bessere Darstellbarkeit der Wertschöpfungsaktivitäten der Lieferanten und durch die Möglichkeit zur Nutzung der Wertschöpfungskette zur Kompetenzanalyse begründet. [POR04, RIT04]

Im Rahmen von Wertschöpfungsanalysen ist der Wertschöpfungsumfang einer Aktivität eine zentrale Beschreibungsgröße. Dabei können verschiedene Dimensionen der Wertschöpfung unterschieden werden. Diese sind die Anzahl der von einem Unternehmen abgedeckten Wertschöpfungsstufen und -aktivitäten in Relation zur gesamten Wertschöpfungskette (Leistungstiefe), das Spektrum der verschiedenen Aktivitäten auf der jeweiligen Stufe (Leistungsbreite) und die Intensität der Aktivitäten (Leistungsintensität). Dabei wird die Leistungstiefe als vertikale Dimension und die Leistungsbreite als horizontale Dimension der Wertschöpfung verstanden. Vor allem die Leistungstiefe ist bei der Analyse der Wertschöpfungsaktivitäten von großer Bedeutung, da sie den Anteil der Eigenleistungen an einem Produkt widerspiegelt und sich somit auf die Stufen des Wertsystems bezieht. Sie kann für jede Teilleistung oder für die gesamten Aktivitäten der Leistungserstellung berechnet werden und ergibt sich aus dem Quotienten aus Wertschöpfung und dem Wert der Abgabeleistung. [EHR07, SCH10]

### **3.1.3 Allgemeine Wertschöpfungskette der Automobilindustrie**

Für eine branchen- oder unternehmensspezifische Analyse der Wertschöpfungskette, muss diese, ausgehend von Porters allgemeiner Grundstruktur, weiter unterteilt und angepasst

werden. Im Folgenden wird daher die allgemeine Wertschöpfungskette und -struktur der Automobilindustrie charakterisiert.

Die Wertschöpfungsstruktur der Automobilindustrie hat sich seit den Anfängen der industriellen Automobilproduktion zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts kontinuierlich verändert, vgl. Abb. 3-5. In der Anfangszeit der Automobilindustrie herrschte eine sehr hohe vertikale Desintegration vor, wobei die Automobilhersteller nur wenige Teile in Eigenregie fertigten und sehr viele Komponenten direkt vom jeweiligen Zulieferer bezogen. Im Zuge der Massenproduktion ab ca. 1915 änderte sich diese Strategie grundlegend und es resultierte eine sehr hohe vertikale Integration, bei der viele Automobilhersteller verstärkt Teile autonom fertigten. Aufgrund der zunehmenden Komplexität der Fahrzeuge und dem steigenden Kundenwunsch nach Individualität verringerten die meisten Automobilhersteller ihre Wertschöpfungstiefe ab ca. 1950 und integrierten die Zulieferer in die Entwicklung von Komponenten und Systemen. Dadurch gelang es, die Anzahl der Varianten zu erhöhen und die Leistungsbreite zu steigern. Um die komplexe Logistik der hohen vertikalen Integration zu verwalten, wurden viele Aufgaben an wenige direkte Zulieferer abgetreten, welche vorrangig Komponenten und ganze Systeme für das Fahrzeug fertigen. Diese Tier-1-Lieferanten beziehen ihre Teile von Komponentenherstellern (Tier-2-Lieferanten), welche wiederum die Einzelteile und Rohstoffe von Tier-3-Lieferanten beziehen. [SCH08a]

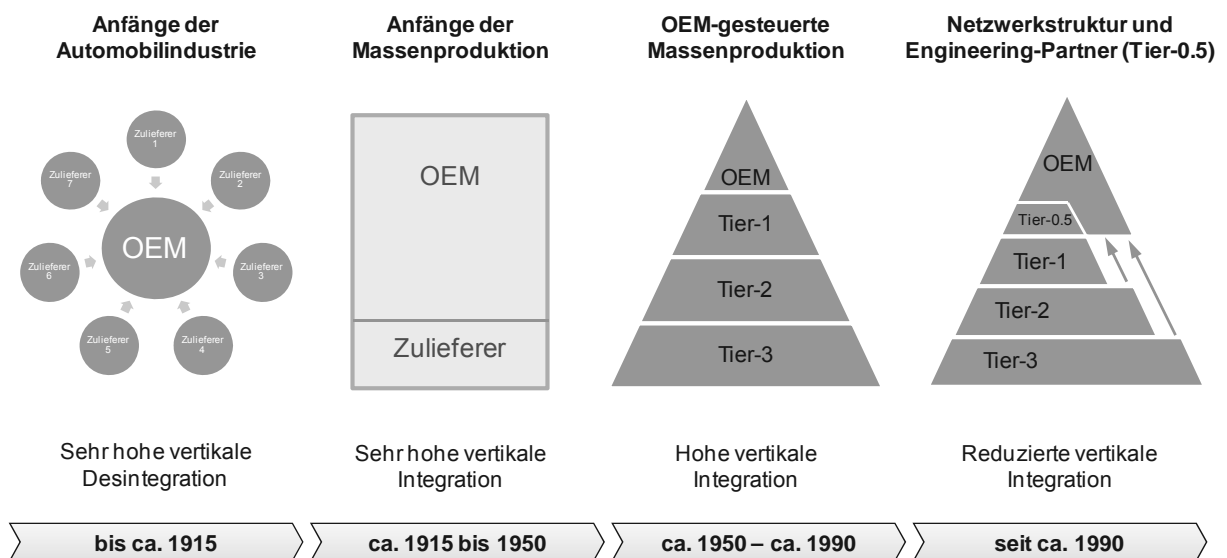


Abb. 3-5: Historische Entwicklung automobiler Wertschöpfungsstrukturen [SCH05]

Aktuell setzt sich der Trend zur Reduzierung der Wertschöpfungstiefe in der Automobilindustrie weiterhin fort. Abb. 3-6 zeigt die Entwicklung der Wertschöpfungstiefe der Automobilhersteller im Bereich der Produktion. Derzeit liegt die Fertigungstiefe der OEM bei ca. 20 %. Für die Zukunft wird vor dem Hintergrund einer global ansteigenden Nachfrage nach Pkw und Nfz sowie der davon abhängigen Entwicklung der Produktionsvolumina eine deutliche Zunahme der Wertschöpfung in der Automobilproduktion und -entwicklung prognostiziert. Demnach wird die Gesamtwertschöpfung (Produktion und F&E) von aktuell 840 Mrd. € um

50 % bis zum Jahr 2025 auf ca. 1.250 Mrd. € ansteigen. Dabei werden die Automobilzulieferer überproportional von diesem Anstieg profitieren und ihren Anteil an der automobilen Wertschöpfung weiter steigern.

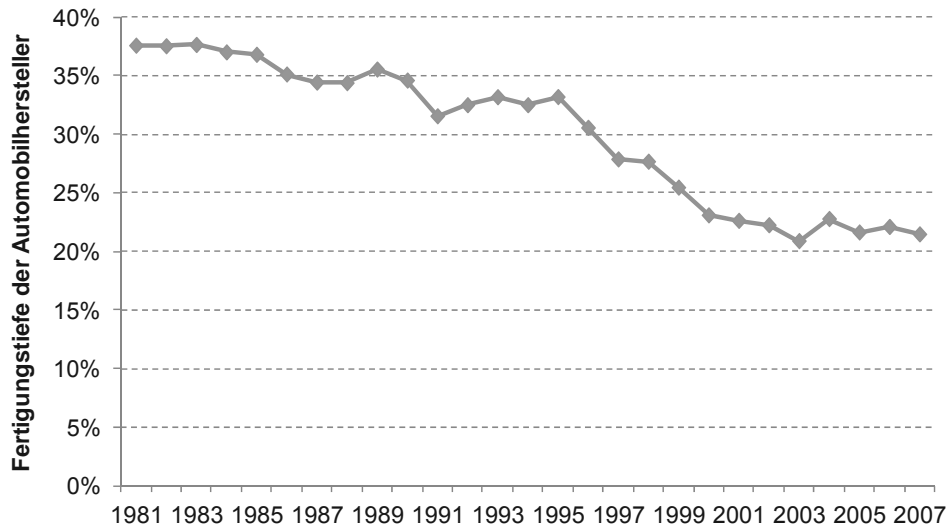


Abb. 3-6: Historische Entwicklung der Fertigungstiefe der Automobilhersteller [VDA08]

Die quantitative Entwicklung der Wertschöpfung ist allerdings durch unterschiedliche Wachstumsraten in den einzelnen regionalen Märkten charakterisiert. Die bereits seit einigen Jahren zu beobachtende Verschiebung der Absatzmarktprioritäten, insbesondere in Richtung China, wird sich auch in der globalen Verteilung der Wertschöpfung widerspiegeln. So wird für China ein jährliches Wachstum von mehr als 5 % erwartet, während sich die Wertschöpfung in den etablierten Automobilmärkten lediglich durchschnittlich (ca. 3 % in Europa) bzw. unterdurchschnittlich (ca. 1,5 % in Nordamerika) entwickelt. [OWY12]

In Abb. 3-7 ist die derzeitige Struktur der Automobilzulieferindustrie dargestellt. Ursächlich für die aktuelle Form und den Trend zur Netzwerkstruktur sind unter anderem die zunehmende Internationalisierung und andererseits die gesteigerte Modularisierung in der Automobilindustrie. Im Zuge der Internationalisierung eröffnen die Automobilhersteller entweder Produktionsstandorte in Niedriglohnländern oder in den zu erschließenden Märkten. Durch die von den OEM geforderte Just-in-Time-Lieferung der Systeme und Module stehen auch die Tier-1-Lieferanten unter einem starken Internationalisierungsdruck und eröffnen Fertigungsstätten in der Nähe der Fahrzeugproduktion. [WAL09] Da die unteren Stufen der Pyramide tendenziell standorttreuer sind und die Lieferintervalle größer ausfallen, sind die Tier-1-Lieferanten gezwungen, vermehrt Logistikaufgaben zu übernehmen und die Materialflüsse von Rohstoffen und Komponenten zu koordinieren.



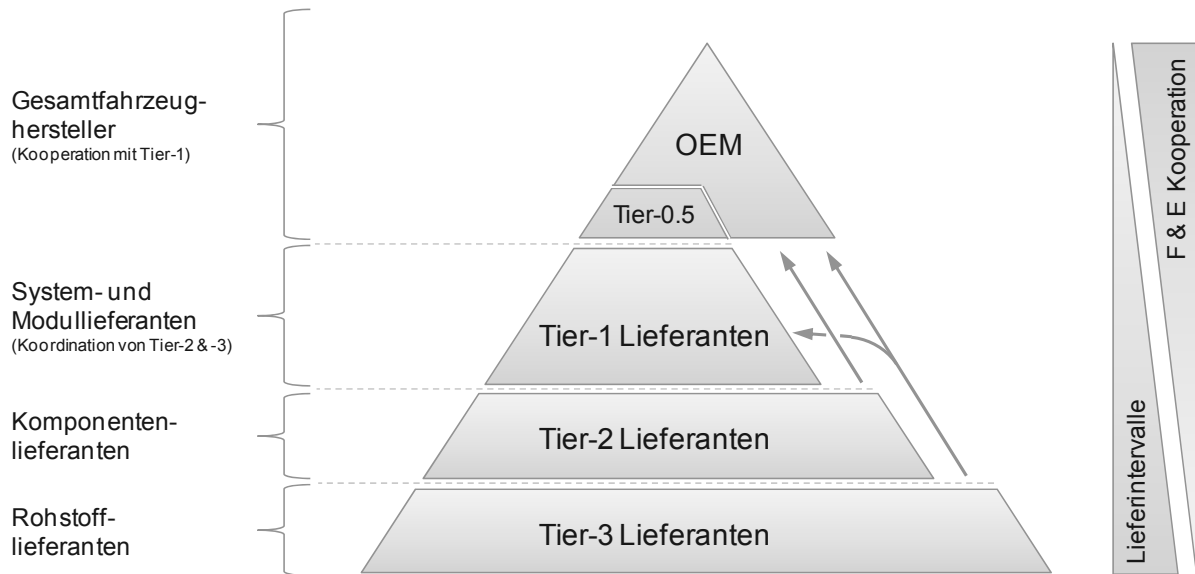


Abb. 3-7: Struktur der Zulieferpyramide in der Automobilindustrie [SCH08b]

Abb. 3-8 zeigt eine allgemeine Darstellung der Wertschöpfungskette in der Automobilindustrie. Bereichsübergreifend werden alle Aktivitäten die der Produktentstehung in der automobilen Wertschöpfungskette dienen als vorgelagerte oder auch Upstream-Prozesse bezeichnet. Dazu zählen alle Tätigkeiten von Forschung und Entwicklung bis hin zur Endmontage. Alle der Produktentstehung nachgelagerten Prozesse werden als Downstream-Prozesse bezeichnet und beziehen sich explizit auf die Bereiche Marketing und Vertrieb, After-Sales und Recycling. [RE110]

Charakteristisch für die automobilen Wertschöpfung ist der hohe Wertschöpfungsanteil von Zulieferern. So werden bereits auf der ersten Wertschöpfungsstufe, im Bereich der Forschung und Entwicklung, Aktivitäten arbeitsteilig von den unterschiedlichen Akteuren erbracht. Aufgrund des hohen Komplexitätsgrades und der technologischen Spezialisierung sind auf dieser Wertschöpfungsstufe vielfältige Kompetenzen erforderlich. Dabei verfügen insbesondere die Fahrzeughersteller über die notwendigen Kompetenzen zur Auslegung, Integration und Absicherung des Gesamtfahrzeugs, während die Automobilzulieferer in der Regel detailliertes Know-How auf der Ebene einzelner Systeme und Module (Tier-1-Zulieferer) bzw. Komponenten (Tier-2-Zulieferer) aufweisen. Eine Sonderrolle nehmen darüber hinaus Entwicklungsdienstleister ein, die keine Produktionskompetenzen besitzen sondern nur bei der Komponenten-, System- oder Gesamtfahrzeugentwicklung zur Wertschöpfung beitragen.

Bei der Wertschöpfungsstufe der Entwicklung kann grundsätzlich zwischen der Vor- und der Serienentwicklung eines Fahrzeuges unterschieden werden. Im Rahmen der Vorentwicklung werden alternative Fahrzeug- und Systemkonzepte entwickelt, analysiert und bewertet. Diese Entwicklungsleistungen werden größtenteils durch den Fahrzeughersteller in Zusammenarbeit mit ausgewählten Systemzulieferern erbracht. Im Rahmen der anschließenden Serienentwicklung werden das ausgewählte Fahrzeugkonzept sowie die dazu gehörigen

Systeme, Module und Komponenten bis zur Serienreife entwickelt. Dabei werden unter anderem das reibungslose Zusammenwirken aller Systeme getestet, die standardisierten Produktions- und Montageabläufe im Detail geplant sowie das finale Zulieferer-Portfolio festgelegt. [KOC06]

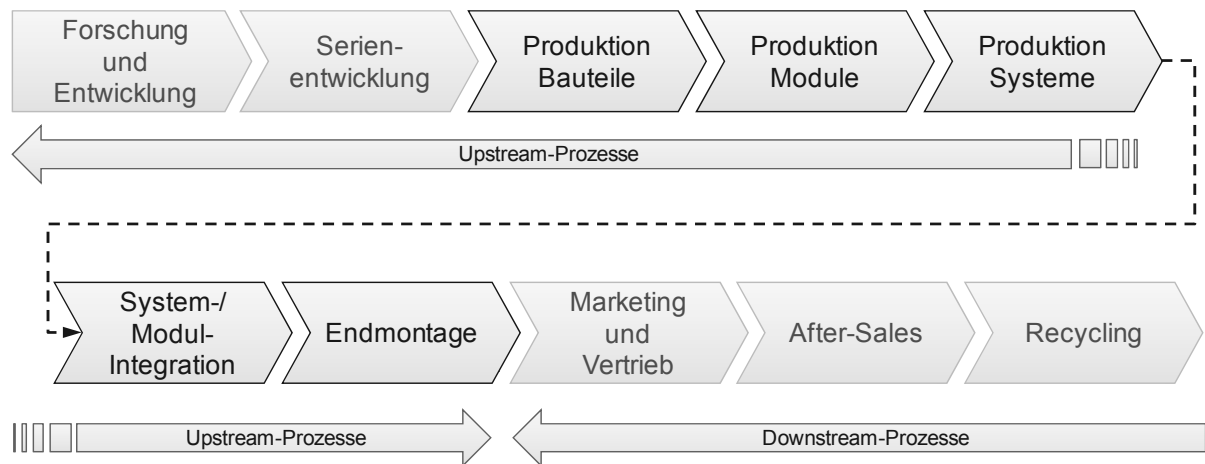


Abb. 3-8: Wertschöpfungskette in der Automobilindustrie

Die Produktion einzelner Bauteile und Komponenten erfolgt größtenteils durch Zulieferunternehmen, die entweder direkt an den Fahrzeughersteller oder an nachgelagerte Automobilzulieferer liefern. Gegenstand der sich daran anschließenden Wertschöpfungsstufen ist die Produktion von einzelnen Modulen (z. B. Frontend-Module) und Systemen (z. B. Lenksystem), die in einem nächsten Schritt in das Gesamtfahrzeug integriert werden. Zur Reduktion der Produktkomplexität und zur Realisierung von Kostenvorteilen setzen die Fahrzeughersteller und Systemzulieferer zunehmend Modularisierungs-, Plattform- und Gleichteilestrategien um. Dabei kann die Produktion und Montage der Module und Systeme sowohl extern bei einem oder mehreren Zulieferern als auch intern beim OEM erfolgen. Aufgrund der hohen Anzahl an verteilten Aktivitäten stellt die System- und Modulintegration einen bedeutenden Schritt in der automobilen Wertschöpfungskette dar. Die dabei durchzuführenden Abstimmungs- und Integrationsleistungen erfordern systemübergreifende Kompetenzen sowie ein Gesamtfahrzeugverständnis und werden in der Regel von den Systemzulieferern oder den Fahrzeugherstellern übernommen. [KOC06]

Im Rahmen der Endmontage werden alle Bauteile, Komponenten, Module und Systeme zum Gesamtfahrzeug zusammengefügt und sämtliche Funktionen getestet. Bei diesem Prozess liefern die Tier-1-Zulieferer, welche als die Direktzulieferer des OEM verstanden werden, die benötigten Teile zeit- und mengengerecht. Dabei übernehmen sie häufig die Koordination weiterer Zulieferer sowie der Logistik bis hin zum Fließband des OEM. Neben dem Automobilhersteller kann die Fahrzeugendmontage auch von Auftragsfertigern durchgeführt werden. Diese werden meist zur Montage von Nischenfahrzeugen beauftragt und bieten dem OEM Flexibilitäts-, Zeit- und Kostenvorteile gegenüber einer eigenen Endmontage. [KOC06]

Die Endmontage eines Pkw ist durch eine hohe Komplexität charakterisiert. Die Diversifizierung von Produktlinien durch Karosserievarianten und Motorisierungen stellt hohe Anforderungen an die Flexibilität der Produktion, da häufig alle Derivate einer Baureihe oder Fahrzeugklasse auf derselben Fertigungslinie montiert werden. Des Weiteren verfügen aktuelle Pkw aufgrund des hohen Individualisierungsgrades über eine Vielzahl an kundenindividuellen Merkmalen. Je nach konfigurierter Zusatzausstattung kommen z. B. unterschiedliche Kabelbäume oder Cockpitmodule zum Einsatz, so dass Zulieferer und ihre Logistik von diesem Trend direkt betroffen sind. [KOC06]

Neben der Entwicklung, der Produktion und der Endmontage sind in der Automobilindustrie auch die der Produktentstehung nachgelagerten Aktivitäten wie Marketing und Vertrieb, After-Sales sowie Recycling von großer Relevanz. Aufgrund der abnehmenden Wertschöpfungstiefe der OEM ist die Bildung und Pflege eine Markenidentität für die Hersteller wichtig, um sich nachhaltig von Wettbewerbern zu differenzieren. So rücken die Bereiche Vertrieb und After-Sales seit einigen Jahren stärker in den Fokus der OEM, da Downstream-Marktpositionen vom Hersteller einfacher besetzt und beispielsweise über systematisches Zielgruppenmanagement Margen maximiert werden können. Finanzierungs- und Versicherungsmodelle der herstellereigenen Finanzgesellschaften sind ein Beispiel hierfür. [HEC10, KOC06]

Durch den zunehmenden Einsatz von höherwertigen Materialien und den steigenden Materialpreisen besitzt das Recycling des Fahrzeugs am Ende seines Lebenszyklus neben einer ökologischen auch eine ökonomische Bedeutung. Dies betrifft zum einen Metalle wie Aluminium und Magnesium, aber auch Kohlefaser-verstärkte Kunststoffe und Kupfer in den vielen Elektronikkomponenten des Fahrzeugs. Als Alternative zum Recycling werden speziell für Elektrofahrzeuge auch Second-Life-Ansätze entwickelt. So können z. B. ausgediente Traktionsbatterien aus Elektrofahrzeugen zur Pufferung von erneuerbaren Energien in stationären Anwendungen verwendet werden.

Im Rahmen des Projektes eVchain.NRW werden primär die in Abb. 3-8 hervorgehobenen Bereiche weiterführend betrachtet. Diese beziehen sich auf die Tätigkeiten der Produktion und Montage von Komponenten, Modulen, Systemen sowie des Gesamtfahrzeugs und sind geprägt von einer großen Anzahl an Kunden-Lieferanten-Beziehungen zwischen dem OEM und, stufenweise über die System- und Modulintegratoren, über hundert Zulieferern.

### **3.2 Produktstruktur eines Pkw mit konventionellem Antriebsstrang**

Als Grundlage für die Beschreibung der klassischen Wertschöpfungsstruktur sowie für den im weiteren Projektverlauf durchzuführenden Vergleich der Fahrzeugkomponenten von Elektrofahrzeugen und konventionellen Fahrzeugen wurde innerhalb des ersten Arbeitspunktes zunächst die Struktur eines Pkw mit konventionellem Antriebsstrang untersucht. Dabei wurde das Gesamtfahrzeug in die Hauptmodule Antriebsaggregat, Antriebsstrang, Karosserie und Exterieur, Fahrwerk, Interieur sowie Elektrik und Elektronik unterteilt, vgl. Abb. 3-9. Für jede dieser Domänen wurden die zugehörigen Systeme und Module identifiziert. In einer weiteren

Detailierungsstufe wurden die System- und Modulbestandteile auf Komponentenebene aufgeführt. Die detaillierte Struktur eines Pkw mit konventionellem Antrieb ist im Anhang dargestellt, vgl. Kap. 9.1. Im Folgenden werden die wesentlichen Bestandteile der sechs Hauptmodule kurz vorgestellt.

Antriebs- aggregat	Antriebs- strang	Karosserie & Exterieur	Fahrwerk	Interieur	Elektrik / Elektronik
					
Grundmotor	Getriebe	Vorder- & Hinterwagen	Bremssystem	Cockpit	Bordnetz- & Bussystem
Motor- management	Antriebswellen	Fahrgast- zelle	Federung & Dämpfung	Sitze	Antriebs- elektronik
Kraftstoff- system	Differential	Frontend & Rearend	Lenksystem	Klimasystem	Fahrwerks- elektronik
Motorkühlsystem	(Achsgtriebe)	Türen & Klappen	Räder	Verkleidung	Stromversorgung
Luftversorgung	(Kardanwelle)	Verglasung	Achsen/Rad- aufhängung	Interieur- elektronik	Komfort- elektronik
Abgasanlage		Beleuchtung		Türsystem	Kommunikation & Entertainment
Nebenaggregate		Anbauteile		Insassenschutz	Sicherheits- elektronik

Abb. 3-9: Hauptmodule eines Pkw mit konventionellem Antrieb

Hauptbestandteil des Antriebsaggregats eines konventionell angetriebenen Fahrzeugs ist der Verbrennungsmotor inklusive der zum Betrieb des Motors erforderlichen Sub-Systeme (z. B. Kraftstoffsystem, Motorkühlsystem). Zudem werden auch die Motorperipherie-Komponenten und Nebenaggregate (z. B. Kühlwasserpumpe, Ölpumpe) sowie die Komponenten der Abgasanlage dem Antriebsaggregat zugeordnet.

Der Verbrennungsmotor wandelt durch einen Verbrennungsprozess die im Kraftstoff gebundene chemische Energie in mechanische Energie und erzeugt eine Rotationsbewegung der Kurbelwelle. Über die Luftversorgung wird die für den Verbrennungsprozess benötigte Luftmenge bereitgestellt. Grundsätzlich wird dabei zwischen Saugmotoren und aufgeladenen Motoren unterschieden, bei denen die Luft durch einen Turbolader oder einen Kompressor vorverdichtet wird. Das Kraftstoffsystem hat dabei die Funktion, den benötigten Kraftstoff in der richtigen Menge und Qualität bereitzustellen. Dazu wird der Kraftstoff aus dem Tank gefördert, gefiltert und über das Einspritzsystem dem Motor zugeführt. Die Erzeugung des zündfähigen Kraftstoff-Luft-Gemischs erfolgt dabei entweder außerhalb des Zylinders (indirekte Einspritzung) oder direkt im Brennraum (Direkteinspritzung). Das Motorkühlsystem hat die Aufgabe, über einen fluiden Kühlkreislauf den optimalen Betriebstemperaturbereich

des Motors unabhängig von Außentemperaturen und Leistungsanforderungen sicherzustellen. Dazu muss zum einen die bei der Verbrennung entstehende Abwärme abgeführt und zum anderen eine möglichst schnelle Erwärmung von Kühlwasser und Motoröl realisiert werden. Die Steuerung, Regelung und Überwachung sämtlicher Motorfunktionen übernimmt das Motormanagement, das auf einem elektronischen Steuergerät implementiert wird.

Die bei der Verbrennung erzeugten Abgase werden über die Abgasanlage aus dem Fahrzeug geleitet. Zur Reduktion der Schadstoff- und Geräuschemissionen werden Abgasnachbehandlungssysteme und Schalldämpfer eingesetzt. Aktuelle Fahrzeuge mit Diesel- oder Ottomotoren verfügen über mehrere Abgasnachbehandlungssysteme, z. B. Partikelfilter und Katalysatoren, um die steigenden legislativen Anforderungen an die Schadstoffemissionen zu erfüllen. Zu den Nebenaggregaten eines Verbrennungsmotors zählen u.a. Pumpen zur Fluidversorgung verschiedener Aggregate (z. B. Hydraulikpumpe für Servolenkung, Ölpumpe), Kompressoren (z. B. Klimakompressor) sowie der Starter und der Generator. Dabei lässt sich zunehmend der Trend zur Elektrifizierung der Nebenaggregate feststellen. Die Entkopplung vom Verbrennungsmotor ermöglicht eine bedarfsgerechte Ansteuerung, wodurch auch der Kraftstoffbedarf des Motors sinkt.

Dem Hauptmodul Antriebsstrang werden alle Systeme und Komponenten zugeordnet, die das vom Antriebsaggregat erzeugte Drehmoment zum Vortrieb des Fahrzeugs auf die Straße übertragen. Wesentliche Bestandteile des Antriebsstrangs sind das Getriebe, die Antriebswellen und das Differential. Das Getriebe wandelt Drehmoment und Drehzahl der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors bedarfsgerecht, wobei eine Kupplung Drehzahlgleichheit zwischen Getriebeeingang und Kurbelwelle herstellt. Dabei können grundsätzlich manuelle Getriebe und Automatikgetriebe (z. B. Wandlerautomatikgetriebe, Doppelkupplungsgetriebe) unterschieden werden. Über die Antriebswelle wird das Moment zum Achsdifferential geleitet, welches eine weitere Übersetzungsstufe beinhaltet und das Drehmoment über die Seitenwellen an die Räder verteilt. Fahrzeuge mit Allradantrieb verfügen zusätzlich über eine Kardanwelle, die das Getriebe mit dem Achsgetriebe der zusätzlich angetriebenen Achse verbindet.

Das Hauptmodul Karosserie und Exterieur umfasst alle Komponenten, die zum Aufbau eines Fahrzeugs gehören, sowie Karosserieranbauteile, Verglasung und Beleuchtung. Die Karosseriestruktur ist bei den meisten Großserienfahrzeugen als selbsttragende Karosserie ausgeführt, wobei Aufbau und Fahrgestell zu einer Einheit integriert sind. Die zentralen Anforderungen an eine Pkw-Karosserie sind ein möglichst geringes Gewicht bei einer hohen Karosseriesteifigkeit und –festigkeit sowie eine maximale Crashsicherheit für die Fahrzeuginsassen. Grundsätzlich können Karosseriestrukturen in die Module Vorderwagen, Fahrgastzelle und Hinterwagen unterteilt werden. Dabei ist die Fahrgastzelle der Bereich, in dem sich die Fahrzeuginsassen befinden und der bei einem Fahrzeugcrash intakt bleiben muss. Die Energieabsorption bei einem Crash erfolgt größtenteils über Crashstrukturen und Energieabsorptionselemente, die im Vorder- und Hinterwagen integriert sind. Neben der eigentlichen Karosseriestruktur gehören zum Aufbau eines Fahrzeuges zudem die Türen und Klappen sowie Karosserieranbauteile wie Kotflügel oder Stoßfänger. Im Zuge der Modularisierung von

Fahrzeugen sind auch im Bereich Karosserie und Exterieur Module entstanden, die in der Regel von Zulieferern produziert und als Vormontageeinheit an den OEM geliefert werden. Neben Tür- und Rearendmodulen werden insbesondere Frontendmodule von den meisten Fahrzeugherstellern eingesetzt. Bei diesem Modul werden Stoßfängerquerträger, Crashboxen, Strukturträger, Kühlergrill, Kühlkomponenten sowie die Frontbeleuchtung zu einer Einheit zusammengefasst. [BRA13]

Dem Hauptmodul Fahrwerk werden alle Systeme und Komponenten zugeordnet, die für das Führen eines Fahrzeugs erforderlich sind. Die Auslegung des Fahrwerks ist dabei entscheidend für den Fahrkomfort und die Fahrdynamik eines Fahrzeugs. Eine Hauptfunktion besteht darin, die Verbindung zwischen Fahrzeugaufbau und Straße herzustellen. Dazu werden die Räder, bestehend aus Felge und Reifen, mit Hilfe von Radaufhängungen und Achsen sowie Federn und Dämpfern auf der Straße geführt. Dabei muss unabhängig vom Fahrbahn- und Fahrzustand ein möglichst guter Kontakt zwischen Rädern und Fahrbahn sichergestellt werden. Die querdynamische Führung des Fahrzeugs erfolgt über das Lenksystem. Der vom Fahrer vorgegebene Lenkradwinkel wird über Lenksäule, Lenkgetriebe und Zahnstange in einen Radlenkwinkel umgesetzt. Zur Reduktion des erforderlichen Lenkradmoments werden in der Regel elektrische oder hydraulische Servolenkungen verbaut. Die Hauptfunktion des Bremssystems besteht darin, dass Fahrzeug entsprechend der Fahrervorgabe zu verzögern. Dabei wird die vom Fahrer aufgebrachte Bremskraft über einen Bremskraftverstärker erhöht und hydraulisch als Bremsdruck an die Radbremsen des Fahrzeugs weitergeleitet. Aufgrund der hohen Sicherheitsrelevanz von Bremssystemen werden mittlerweile ausschließlich elektronisch geregelte Systeme mit integrierten Sicherheitsfunktionen wie Antiblockiersystemen (ABS) eingesetzt. [BRA13]

Das Interieur bzw. der Innenraum eines Fahrzeugs stellt die zentrale Schnittstelle zwischen Insassen und Fahrzeug dar. Daher müssen die Komponenten des Interieurs dem Fahrer vor allem eine sichere Bedienung des Fahrzeugs in allen Fahrsituationen ermöglichen. Darüber hinaus werden der Fahrkomfort sowie die Qualitätsanmutung eines Fahrzeugs wesentlich durch die Gestaltung des Interieurs beeinflusst. Das Cockpitmodul ist eine der komplexesten Baugruppen im Fahrzeug und umfasst u. a. den Instrumententafelträger, das Kombi-Instrument, das Lenkrad, die Mittelkonsole mit allen Einbauteilen (z. B. Navigationsgerät, Luftausströmer), die Bedienelemente sowie Verkleidungen. Die Fahrzeugsitze stellen die Verbindung der Insassen mit dem Fahrzeugaufbau her und müssen sowohl komfortabel sein als auch ausreichend Halt in dynamischen und kritischen Fahrsituationen bieten. Das Klimasystem konditioniert das Innenraumklima auf die vom Fahrer gewünschte Temperatur und stellt eine hohe Luftqualität sicher. Zur Interieurelektronik werden alle im Innenraum verbauten elektronischen Komponenten wie Bildschirme, Bedienelemente und Steuergeräte gezählt. Das Türsystem beinhaltet verschiedene Elemente wie das Schließsystem, elektrische Fensterheber, Lautsprecher, Akustikdämmungen und Verkleidungen. Dem Bereich Insassenschutz werden alle Sicherheits- und Rückhaltesysteme (Sicherheitsgurte, Kopfstützen, Airbags) eines Fahrzeugs zugeordnet. Die Hauptaufgabe dieser Systeme besteht darin, die auf die Fahrzeuginsassen wirkenden Beschleunigungen bei einem Crash zu verringern und einen Aufprall auf Bestandteile der Fahrzeugstruktur zu vermeiden.

Das Hauptmodul Elektrik/Elektronik (E/E) umfasst alle elektronischen Komponenten eines Fahrzeugs. Da in allen Fahrzeugbereichen E/E-Komponenten eingesetzt werden, stellt dieses Hauptmodul einen Querschnittsbereich für die restlichen Hauptmodule dar. Insgesamt hat sich der Anteil an elektronischen Komponenten im Fahrzeug über die letzten Jahre signifikant erhöht. So werden in aktuellen Fahrzeugen je nach Funktionsumfang zwischen 40 und 80 elektronische Steuergeräte (Electronic Control Unit – ECU) verbaut. Gleichzeitig werden neue Fahrzeugfunktionen mittlerweile größtenteils durch den Einsatz von Elektronikkomponenten und Software realisiert. Zu den in Fahrzeugen verwendeten E/E-Komponenten zählen u. a. verschiedene Sensoren und Aktuatoren, Steuergeräte, Anzeigeelemente und die Verkabelung. Die Stromversorgung dieser Komponenten erfolgt über das Bordnetz, das in der Regel über die 12-V-Starterbatterie und den Generator mit Energie versorgt wird. Für den Datenaustausch zwischen Sensoren, Steuergeräten und Aktuatoren werden in Abhängigkeit der erforderlichen Datenübertragungsrate verschiedene Bussysteme wie LIN (Local Interconnect Network), CAN (Controller Area Network), MOST (Media Oriented Systems Transport) oder Flexray eingesetzt. Grundsätzlich ist eine Unterteilung des Hauptmoduls E/E in die Sub-Systeme Antriebs-, Fahrwerks-, Komfort-, Sicherheitselektronik sowie Kommunikation und Entertainment gebräuchlich, wobei eine eindeutige Zuordnung von Funktionen nicht immer möglich ist. Die gilt insbesondere für den Bereich Sicherheitselektronik, der sowohl unfallvermeidende Fahrerassistenzfunktionen wie ESP oder Notbremsassistenten als auch Funktionen zur Reduktion der Unfallschwere umfasst. Zu den Kernkomponenten der Antriebselektronik zählen das Motor- und Getriebemanagement sowie die erforderliche Sensorik. Die E/E-Komponenten im Fahrwerk sind u. a. Steuergeräte für Lenkung und Bremse oder die für aktive Fahrwerke erforderliche Elektronik. Unter dem Bereich Komfortelektronik werden alle Systeme zusammengefasst, die eine Erhöhung des Fahrkomforts bewirken (z. B. Steuergerät für Klimasystem oder Sitzverstellung). Der Bereich Kommunikation und Entertainment beinhaltet insbesondere das Infotainmentsystem eines Fahrzeugs sowie die zugehörigen Konnektivitätsmodule für Mobilfunk und Internet. [BRA13]

Aufbauend auf den Ergebnissen der Produktstrukturanalyse wurde eine Referenzstruktur eines Fahrzeuges mit konventionellem Antriebsstrang erarbeitet, die in einer Excel-Tabelle dokumentiert ist, vgl. Abb. 3-10. Die Referenzstruktur dient dabei als Grundlage für die nachfolgenden Arbeitspunkte und besteht aus drei Detaillierungsstufen, die nach Bedarf ein- bzw. ausgeblendet werden können. Für die Systeme und Module sind zudem der Wertschöpfungsumfang sowie der Anteil an der Gesamtwertschöpfung angegeben. Die Tabelle enthält darüber hinaus die Information, ob das jeweilige Bauteil vom Automobilhersteller oder vom Automobilzulieferer produziert wird. Da der Produktionsumfang allerdings hersteller- und modellspezifisch variiert, ist bei einigen Bauteilen (z. B. Zylinderblock) keine eindeutige Zuordnung möglich. Die aufgeführten Fahrzeugkomponenten wurden zudem hinsichtlich der bei Elektrofahrzeugen notwendigen Veränderungen kategorisiert. Dabei wurde eine Einteilung in die Kategorien „Keine Veränderungen“, „Veränderungen möglich“, „Veränderungen notwendig“ und „Entfall der Komponente“ vorgenommen. Eine detailliertere Betrachtung der resultierenden Veränderungen erfolgt innerhalb des dritten Arbeitspunktes.

Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen	Wertschöpfungsumfang	Wertschöpfungsanteil
<b>Fahrwerk</b>					
Gesamtsystem	X			1.780 €	15,8%
Räder		X	Veränderungen möglich	380 €	3,4%
Radaufhängung	X	X	Veränderungen möglich	475 €	4,2%
Stoßdämpfer/Federung	X	X		170 €	1,5%
Lenkung	X	X	Veränderungen möglich	260 €	2,3%
Tragende Elemente	X	X		45 €	0,4%
Bremssystem		X	Veränderungen notwendig	450 €	4,0%
Bremssattel		X		-	-
Bremskraftverstärker		X	Veränderungen notwendig	-	-
Bremssbeläge		X		-	-
Bremsschläuche		X		-	-
Bremsscheibe		X		-	-
Hauptbremszylinder		X	Veränderungen notwendig	-	-
Hydraulikbremskolben		X		-	-
(Mechanische) Handbremse		X		-	-
ABS/ESP		X		-	-
<b>Motor und Aggregate</b>					
Gesamtsystem	X		Entfall	2.000 €	17,7%
Grundmotor	X		Entfall	1.300 €	11,5%
Zylinderblock	X	X	Entfall	-	-
Zylinderkopf	X	X	Entfall	-	-
Nockenwelle	X	X	Entfall	-	-
Pleuelstange	X	X	Entfall	-	-
Kurbelwelle	X	X	Entfall	-	-
Kolben	X	X	Entfall	-	-
Motorlager		X	Entfall	-	-
Ölwanne		X	Entfall	-	-
Motoraufhängung mit Lager		X	Entfall	-	-
Leitungen, Schläuche, Dichtungen		X	Entfall	-	-
Ventile	X	X	Entfall	-	-
Zündkerzen		X	Entfall	-	-
Abgasanlage		X	Entfall	-	-

Abb. 3-10: Referenzstruktur eines Fahrzeuges mit konventionellem Antriebsstrang

### 3.3 Produktionsprozess eines konventionellen Pkw

Die Darstellung der Produktionsmontageschritte entlang der Wertschöpfungskette erfolgt repräsentativ anhand des Produktionsprozesses des Volkswagen Polo V. Aufgrund der Abmessungen und des Preisniveaus ist der VW Polo V im Kleinwagensegment einzuordnen. In diesem Fahrzeugsegment werden zusammen mit dem Kleinwagensegment derzeit die meisten batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge angeboten, so dass eine adäquate Vergleichsbasis auf Massenproduktionsniveau entsteht. Der gesamte Entstehungsprozess eines für den europäischen Markt produzierten Polo V ist in Anhang 9.2 dargestellt.

Die einzelnen Stationen des Produktionsprozesses sind in Abb. 3-11 dargestellt. Diese Abschnitte stellen eine grobe Einteilung der Wertschöpfungsaktivitäten dar, wobei jeder Bereich weitere Arbeitsstationen beinhaltet. Charakteristisch für die Fahrzeugherstellung in Großserie ist ein Hauptstrang sowie zwei kleinere Nebenstränge, in denen zum einen die Türen montiert werden und zum anderen der Triebstrang für die Verbindung des Fahrgestells mit der Karosserie (sog. Hochzeit) montiert wird. Neben diesen Abschnitten existieren weitere Produktionslinien, in denen z. B. der Motor, das Getriebe oder die Sitze vormontiert werden. Dabei sind die Tätigkeiten getaktet und der gesamte Montageprozess erfolgt nach dem Fließprinzip.



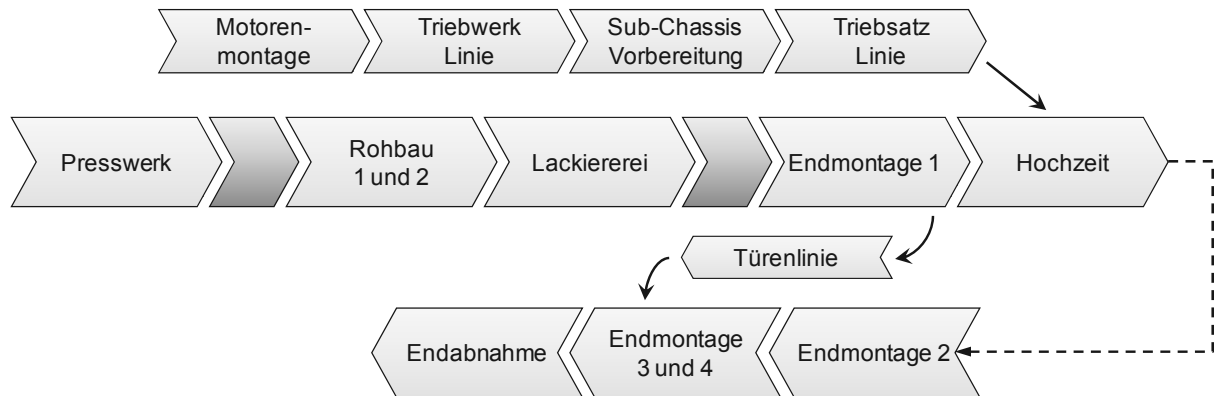


Abb. 3-11: Übersicht Produktionsprozess Volkswagen Polo V

### 3.3.1 Produktionsprozess im Segment Antriebsaggregat

Das Antriebsaggregat gilt als Kernmodul eines Fahrzeugs und wird in der Volkswagen AG traditionell in Eigenfertigung hergestellt. Entwickelt werden die verbauten Motoren im niedersächsischen Wolfsburg. Die Produktion findet in den Motorenwerken Salzgitter und Chemnitz statt. Dort werden unter anderem die Nockenwellen, die Zylinderlaufbahnen, die Pleuelwellen und die Pleuelstangen gefertigt und mit diversen fremdbezogenen Teilen zum Rumpfmotor komplettiert. Die vormontierten Motoren werden anschließend in Chargen zu der Produktionsstätte transportiert. Dort fließen sie dem sogenannten Engine Workshop zu und werden noch unsortiert mit Kupplungen, Verteilern, Abgasführungen, Ansaugstutzen und Einspritzsystemen versehen. Im Anschluss werden die Motoren sequenziell sortiert und zwischengelagert bevor die Motornummer aufgeprägt wird. Anschließend werden alle losen Komponenten befestigt, die Motoren mit Öl befüllt und einer ersten Überprüfung auf fehlerhaft montierte Teile sowie auf Dichtigkeit unterzogen. Dabei werden alle Motoren bei einem Kalttest auf Dichtigkeit überprüft und stichprobenweise weitere Tests bei laufendem Motor (Heißtests) durchgeführt. Abb. 3-12 zeigt einen Ausschnitt aus dem Ablaufdiagramm der Polo V Produktion, worin die Abfolge der Montageschritte sowie die Komponenten aus Fremd- und Eigenfertigung ersichtlich werden. [VWN11]

Nach erfolgreichem Bestehen der Inspektionen werden die Motoren in den Bereich der Triebwerk-Linie überführt. Dort wird das Antriebsaggregat durch die Montage des Anlassers, der Nebenaggregate und der Verkabelung inklusive Motorsteuerung komplettiert. Dabei erfolgen die Arbeitsschritte der Motorenmontage nach dem Fließmontageprinzip, wohingegen sie im Bereich der Rumpfmotorfertigung hochautomatisiert in Taktstraßen durchgeführt werden. [KRO09, VWN11]

In Bezug auf die Wertschöpfungstiefe nimmt die Volkswagen AG in diesem Segment eine Sonderstellung ein, da sie im Gegensatz zu anderen Automobilherstellern besonders viele Fertigungsschritte abdeckt. Dabei geht die Fertigungstiefe über die Herstellung von z. B. Nockenwellen, Pleuel und Ventilen hinaus und wird bis in den Bereich des Werkzeugbaus

ausgeweitet [WEI05]. Zudem resultiert ein erheblicher Teil der Wertschöpfung aus der Entwicklung, Integration sowie Vor- und Endmontage der Motoren.

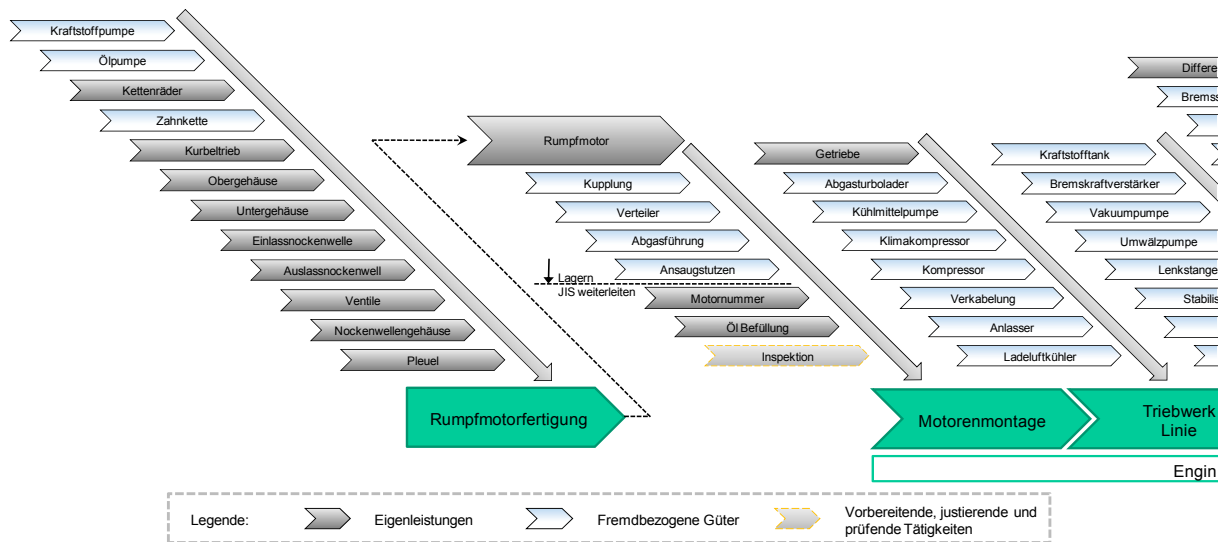


Abb. 3-12: Montageschritte des Antriebsaggregats (Auszug)

### 3.3.2 Produktionsprozess im Segment Antriebsstrang

Die Komponenten aus dem Segment des Antriebsstrangs werden ebenso wie das Antriebsaggregat zu großen Teilen in Eigenfertigung produziert. Dabei werden die Getriebe und das Differenzial des Polo V im Volkswagen Werk Kassel gefertigt und vormontiert. Die Fertigungstiefe erstreckt sich hier über die Zahnrad- und Wellenfertigung bis hin zur eigenen Gehäuseherstellung im Druckgussverfahren. Das Volkswagenwerk Kassel stellt das zweitgrößte Werk der Volkswagen AG dar und agiert ausschließlich als interner Komponentenzulieferer für andere Volkswagen Werke. [VWK11]

Nach dem Transport erfolgt die Montage des Getriebes, des Differenzials und der Antriebswellen im Engine Workshop der entsprechenden Fahrzeugproduktionsstätte. Dabei wird zunächst im Bereich der Triebwerk-Linie das Getriebe am Antriebsaggregat befestigt und nach der Vorbereitung des unteren Chassis die Antriebswellen und das Differenzial montiert. Diese Tätigkeiten erfolgen ebenfalls getaktet, so dass der komplett montierte Triebsatz Just-in-Sequence zur Hochzeit transportiert werden kann. Diese findet auf dem parallelen Bandabschnitt der Hauptlinie statt, welcher sich in dem Bereich der Endmontage befindet.

Im Gegensatz zu anderen Großserienherstellern, die viele Komponenten des Antriebsstrangs von Zulieferern beziehen, verfolgt die Volkswagen AG in diesem Segment eine Fertigungsstrategie mit hohem Eigenfertigungsanteil. Dabei nutzt VW die eigene Entwicklung und Fertigung von Getrieben mit vergleichsweise hohem Wirkungsgrad, um sich bei Verbrauch und Fahrdynamik vom Wettbewerb differenzieren zu können. Ein Beispiel ist das Siebengang-DSG-Getriebe, welches durch eine trockene Doppelkupplung und reduzierte Reibwerte eine deutliche Verbrauchseinsparung im Vergleich zu Automatikgetrieben erzielt.

Durch die Integration von Fertigungsschritten bis hin zu Schmiede- und Wärmebehandlungstätigkeiten besitzt die Volkswagen AG im Segment des Antriebsstrangs einen hohen Anteil an der Wertschöpfung.

### 3.3.3 Produktionsprozess im Segment Karosserie und Exterieur

Die Fertigung der Komponenten des Segmentes Karosserie und Exterieur erfolgt größtenteils innerhalb des entsprechenden Automobilwerkes in den Bereichen Presswerk, Rohbau 1 und 2 sowie der Lackiererei. Abb. 3-13 zeigt einen Ausschnitt aus dem Ablaufdiagramm der Polo V Produktion, der die Aktivitäten aus dem Segment Karosserie und Exterieur darstellt.

Der Herstellungsprozess der Karosserie des VW Polo V beginnt im Presswerk, wo zugeschnittene, feuerverzinkte Bleche zu Formteilen gepresst werden. Die Produktionsanlagen sind hochautomatisiert und durch verschiedene Werkzeuge zur Herstellung unterschiedlicher Karosserieteile geeignet. Das Einlegen und Entnehmen der Bleche erfolgt durch Industrieroboter, wodurch sehr kurze Taktzeiten realisiert werden können. [VWN11] Aufgrund der Fertigung in Chargen und dem anschließenden Werkzeugwechsel werden die Halbzeuge zwischengelagert und fließen anschließend dem Rohbau zu. Dieser Bereich ist ebenso wie das Presswerk hochautomatisiert und durch das Montageprinzip der Taktstraße geprägt. Die in den einzelnen Werken eingesetzten automatisierten Montagestationen werden zuvor im Anlagenbau im Werk Wolfsburg montiert. Dies bietet den Vorteil der Nutzung von einheitlichen Montagezellen an allen Standorten, wodurch eine zentrale Prozessoptimierung realisiert werden kann. [VWA09]

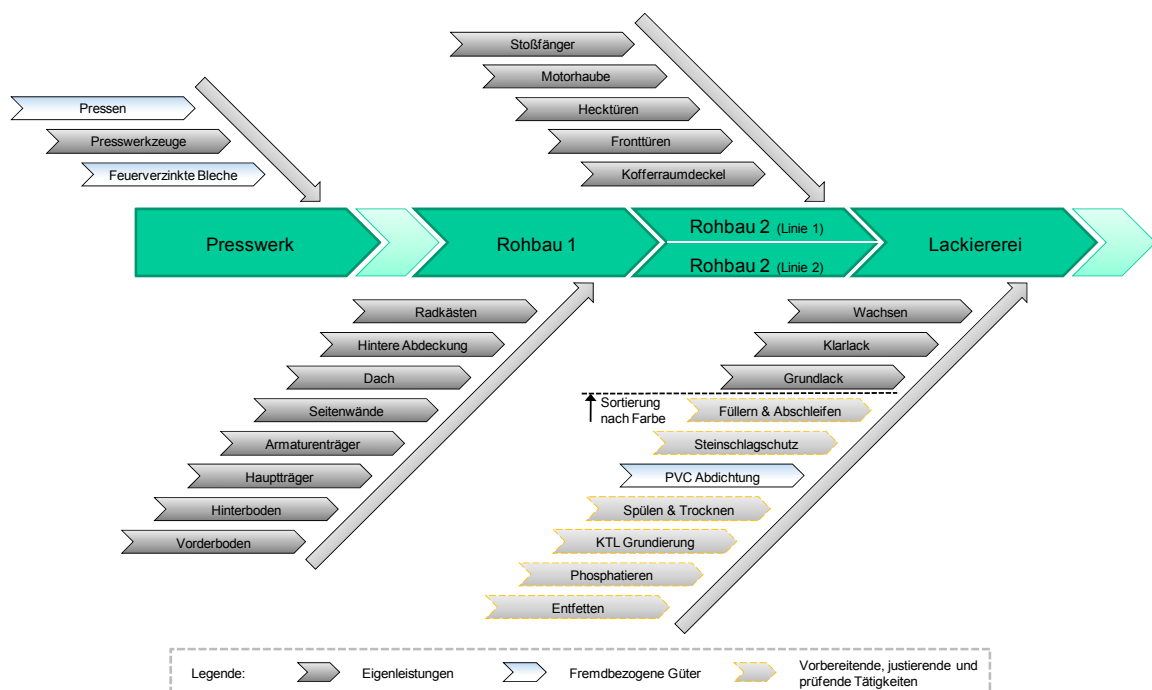


Abb. 3-13: Montageschritte aus dem Segment Karosserie und Exterieur

Nachdem die Grundkarosserie durch Industrieroboter im Bereich Rohbau 1 gefertigt wurde, wird diese durch die Montage der beweglichen Außenteile komplettiert und in die Lackiererei befördert. Üblich für die Lackierung von Großserienfahrzeugen ist die Sortierung der Karosserien nach Farbtönen. Dabei findet zuerst unsortiert das Entfetten, Phosphatieren, Grundieren und Füllern statt. Anschließend werden die Karosserien nach Farbtönen sortiert. Dies bietet den Vorteil, dass Karosserien gleicher Farbe die Lackstraße wie an einer Perlenkette passieren und die benötigte Menge an Lösungsmittel und Farbe für Spülvorgänge bei Farbwechseln deutlich reduziert werden kann. Nach dem Wachsen werden die Karosserien in einem Hochregallager zwischengelagert. Durch diese Pufferung kann eine sequenzielle Zuführung zur Endmontage stattfinden und gleichzeitig die Endmontage gegen temporäre Störungen in den vorgelagerten Bereichen geschützt werden. Neben den Pressteilen zählen auch die Verglasung, die Beleuchtung und alle sonstigen Anbauteile zum Segment der Karosserie und des Exterieurs. Bei der Polo-V-Produktion werden diese Komponenten fremdgefertigt und im Bereich der Endmontage von Mitarbeitern am Fahrzeug angebracht. [VWN11]

Die Entwicklung und Herstellung der Karosserie zählt traditionell zu den Kernkompetenzen eines Großserienherstellers. Dies liegt besonders im hohen vom Kunden wahrgenommenen Differenzierungspotenzial der Karosserie begründet. Bei der Polo-V-Produktion ist festzustellen, dass die Volkswagen AG eine im Vergleich zu anderen Fahrzeugherstellern erhöhte Fertigungstiefe aufweist. Diese resultiert vornehmlich aus dem eigenen Anlagen- und Werkzeugbau, der alle Volkswagen Werke beliefert und standardisierte Fertigungsprozesse gewährleistet. Durch diese ausgeprägte Integration von Wertschöpfungsaktivitäten besitzt die Volkswagen AG im Segment der Karosserie und des Exterieurs einen gegenüber Wettbewerbern erhöhten Wertschöpfungsanteil.

### **3.3.4 Produktionsprozess im Segment Fahrwerk**

Die Hauptkomponenten des Fahrwerks sind die Achsen, die Radaufhängungen, die Federung und Dämpfung, die Räder, das Lenksystem sowie das Bremssystem. Davon werden das Lenksystem, die Achsen und die Radaufhängung im Volkswagen Komponentenwerk Braunschweig vormontiert. Dabei stellt die Entwicklung und Vormontage des Lenksystems eine Besonderheit dar, da in der Automobilbranche in der Regel auf Lenksysteme von Zulieferern zurückgegriffen wird [RAD04]. Nachdem die vormontierten Komponenten in der Produktionsstätte angeliefert wurden, werden diese sortiert und Just-in-Sequence den Montagestationen im Engine Workshop zugeführt. In Abb. 3-14 ist die dortige Montage der Komponenten des Fahrwerks dargestellt.

Zuerst werden der Bremskraftverstärker, die Vakuumpumpe, die Lenkstange, die Stabilisatoren, der Servomotor und der Servoflüssigkeitstank im Bandabschnitt der Sub-Chassis Vorbereitung montiert. Dabei wird die Vakuumpumpe nur bei Dieselmotoren und direkteinspritzenden Ottomotoren verbaut, da durch die fehlende Drosselklappe kein Unterdruck aus dem Saugrohr dieser Motoren genutzt werden kann [LUN09]. Anschließend werden im Bandabschnitt der Triebsatlinie die Antriebswellen, das Feder-Dämpfer-System, die Antriebsge-

lenke, die Radaufhängung und abschließend die Bremscheiben und -sättel angebracht. Der nun vervollständigte Triebatz wird automatisiert und Just-in-Sequence zur Hochzeit befördert. Die Taktzeit der Fließmontage im Engine Workshop ist hier identisch der Taktzeit der Endmontage, wodurch eine synchronisierte Produktion sichergestellt ist. [VWN11]

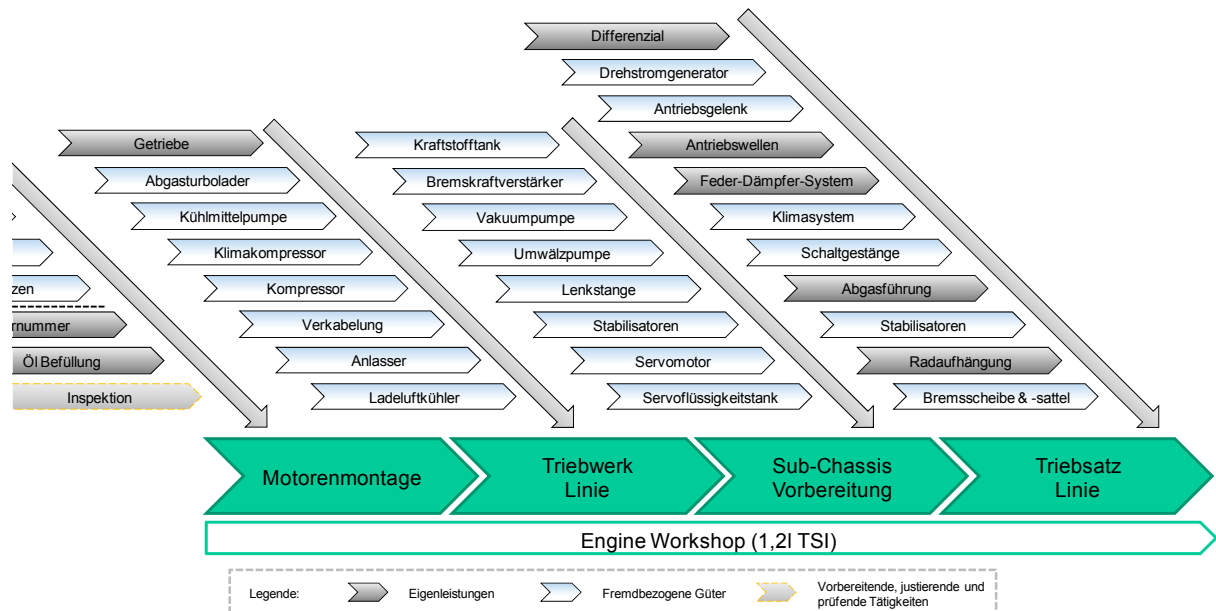


Abb. 3-14: Montageschritte aus dem Segment Fahrwerk (Auszug)

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Volkswagen AG bei der Polo-V-Produktion einen im Vergleich zu den Zulieferern geringeren Wertschöpfungsanteil besitzt. Hier ist jedoch anzumerken, dass die Fertigungstiefe der Volkswagen AG im Segment des Fahrwerks im Vergleich zum Wettbewerb stärker ausgeprägt ist. Grund dafür sind die Entwicklungs- und Vormontageaktivitäten im Komponentenwerk Braunschweig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Großteil der Bauteile und Komponenten fremdbezogen wird, wodurch sich der Wertanteil der Zulieferer erhöht. Wertsteigernde Tätigkeiten beschränken sich hauptsächlich auf die Integration sowie Montage der Systeme und Module.

### 3.3.5 Produktionsprozess im Segment Interieur

Die Montage der Komponenten des Segmentes Interieur erfolgt auf der Hauptlinie in den Bandabschnitten Endmontage 1 bis 4. Dabei wird, wie in der Großserienfertigung üblich, nach dem Prinzip der Fließmontage vorgegangen. Wie bereits in Abschnitt 3.3.3 beschrieben, werden die Rohkarosserien aus einem Hochregallager sequenziell der Endmontage zugeführt. Im ersten Abschnitt der Endmontage werden die Verkabelung, die Dämmung, die Dichtungen sowie die Scheiben montiert. Zudem werden die Türen abgeschlagen und automatisiert zur Türenlinie befördert. Anschließend findet die Hochzeit statt, bei der die Karosserie mit dem Triebatz verbunden wird. Dabei werden die Triebätze automatisiert und Just-in-Sequence unter die Station befördert und von unten in die Karosserie

geschoben. Mitarbeiter verbinden anschließend alle Kabel sowie Schläuche und befestigen den Trieb Satz an der Karosserie. [VWN11]

Nach der Hochzeit werden im Bandabschnitt der Endmontage 2 die Deckenelemente, das Cockpitmodul, die Sicherheitsgurte, sowie die Steuergeräte montiert. Anzumerken ist, dass die Volkswagen AG auch Fertigungsstrategien verfolgt, bei denen das Cockpit in Eigenfertigung hergestellt wird. Diese Fertigungstiefe wird jedoch nur bei Mittel- und Oberklassefahrzeugen angestrebt und kommt in der Polo V Produktion nicht zum Einsatz. Im Bereich der Endmontage 3 und 4 werden alle weiteren Komponenten des Interieurs, welche ebenfalls fremdbezogen sind, im Fahrzeug angebracht. Eine Besonderheit in der Endmontage stellen die Türen dar, welche auf einer separaten Linie vormontiert werden und anschließend im Bandabschnitt 4 erneut am Fahrzeug montiert sowie justiert werden. Dabei stellt die Vormontage der Türen eine Wertschöpfungsaktivität dar, die andere Hersteller häufig an Zulieferer abtreten. Nachdem das Fahrzeug komplett montiert ist, erfolgt der Erststart. Anschließend fährt ein Mitarbeiter der Qualitätssicherung das Fahrzeug zu einer der vier Endabnahme-Linien. [VWN11]

Die Anzahl an fremdbezogenen Komponenten bedingt einen vergleichsweise geringen Wertschöpfungsanteil der Volkswagen AG im Segment des Interieurs. Dabei besitzen die Zulieferer besonders bei den Komponenten des Cockpits, dem Klimasystem und den Sitzen einen hohen Wertanteil. Festzustellen ist jedoch, dass durch die von Volkswagen durchgeführten Montagetätigkeiten im Bereich der Türenlinie ein im Branchenvergleich überdurchschnittlicher Wertschöpfungsanteil vorzufinden ist.

### **3.3.6 Produktionsprozess im Segment Elektrik/Elektronik**

Die Komponenten des Segmentes Elektrik und Elektronik sind in allen Bereichen des Fahrzeugs vorzufinden. Demzufolge sind die wertschöpfenden Aktivitäten über die Montagestationen der Endmontage, des Engine Workshops und der Türenlinie verteilt.

Einen besonders hohen Wertanteil besitzt in diesem Bereich der Kabelbaum. Das Ziehen sowie das Bewickeln der Kabel und das Anbringen der Befestigungsclips stellen komplexe Tätigkeiten dar, so dass eine Herstellung in kosten- und zeitintensiver Handarbeit unumgänglich ist. Zudem variiert die Struktur des Kabelbaums je nach Ausstattungsvariante erheblich. Im Durchschnitt ist der Wertanteil eines heutigen Kabelbaums gleichzusetzen mit dem der Rohkarosserie. Wie die meisten Automobilhersteller verzichtet auch die Volkswagen AG auf eine eigene Kabelbaumfertigung und bezieht diese Komponente von Zulieferern, die in der Regel Produktionsstätten in Niedriglohnländern betreiben. Dabei kann bei einer Kabelbaumfertigung durch die Dräxlmaier GmbH am Standort in Serbien eine Just-in-Sequence-Anlieferung ca. drei Tage nach Auftragseingang erfolgen. [CAN11]

Neben den Kabelbäumen werden bei der Produktion des VW Polo V auch die Komponenten des Info- und Entertainments, der Sicherheitselektronik und der Komfortelektronik fremdbezogen. Lediglich im Bereich der Antriebs- und Fahrwerkelektronik besitzt die Volkswagen AG ausgeprägte eigene Kompetenzen. Zudem besteht eine weitere Kompetenz in der Über-

wachung aller elektronischen und elektrischen Komponenten im Fahrzeug. Dazu werden schon während der Fahrzeugmontage kontinuierlich Diagnosegeräte angeschlossen und der Fehlerspeicher überprüft. Durch diese Maßnahme lassen sich bereits in frühen Phasen Mängel aufdecken und z. B. durch den Einsatz von zusätzlichen Mitarbeitern vor dem Erststart beheben. Zusätzlich findet im Bereich der Endabnahme eine erneute Überprüfung und gegebenenfalls eine Justage der Komponenten dieses Segmentes statt. Dabei werden unter anderem die Fahrerassistenzsysteme, die Info- und Entertainmentsysteme sowie die Komfortelektronik in eigenen Takten überprüft.

Aufgrund des hohen Anteils an fremdbezogenen Komponenten im Bereich Elektrik/Elektronik ist die Wertschöpfung seitens der Volkswagen AG bei der Polo-V-Produktion als gering einzustufen. Dabei sind hauptsächlich die Integration, die Montage und die Überprüfung der Komponenten der Wertschöpfung von Volkswagen in der Produktion zuzurechnen.

### 3.3.7 Exemplarische Wertschöpfungsverteilung Polo V

Aufbauend auf der in den vorhergehenden Unterkapiteln dargestellten Analyse der Produktionsprozesse ist die gesamte Wertschöpfungsverteilung der Herstellung eines europäischen Modells des Volkswagen Polo V in Abb. 3-15 zusammenfassend dargestellt. Festzustellen ist, dass die Volkswagen AG in den Bereichen Antriebsaggregat, Antriebsstrang sowie Karosserie und Exterieur einen vergleichsweise hohen Wertschöpfungsanteil besitzt. Dieser resultiert insbesondere aus der hohen Fertigungstiefe in diesen Bereichen und der Komponentenfertigung in den Volkswagen Werken in Braunschweig, Wolfsburg und Chemnitz. Diese Werke fungieren als Zulieferer und übernehmen ebenso wie externe Komponentenfertiger Verantwortung für die Qualität und Termintreue.

Konträr zu den ersten drei Segmenten verhält es sich mit dem Fahrwerk, dem Interieur sowie der Elektrik und Elektronik. Hier überwiegt der Anteil an fremdbezogenen Komponenten deutlich, wodurch die Wertschöpfung seitens Volkswagen vergleichsweise gering ausfällt. Trotz der geringen Fertigungstiefe in diesen Bereichen versucht die Volkswagen AG über Forschungs- und Entwicklungskooperationen sowie gemeinsame Entwicklungsprojekte mit Zulieferern Differenzierungspotenziale bei vom Kunden wahrgenommenen Komponenten umzusetzen.



Abb. 3-15: Wertschöpfungsverteilung eines Volkswagen Polo V

Zusammenfassend ist für die gesamte Wertschöpfung eines Volkswagen Polo V festzustellen, dass der Wertanteil der Zulieferer bei ca. 65 bis 75 % liegt. Dieser resultiert in erster Linie aus den in der Endmontage verbauten Komponenten. Als besonders wertschöpfend für die Volkswagen AG wirkt sich hier die hohe Fertigungstiefe bei der Herstellung der Motoren, der Getriebe, der Fahrwerkskomponenten und der Karosserie aus, welche im Vergleich zum Wettbewerb stark ausgeprägt ist. Im folgenden Kapitel wird daher die aktuelle Wertschöpfungsstruktur und -tiefe in der Automobilindustrie vertiefend betrachtet mit der Zielsetzung, eine herstellerunabhängige Abbildung der Wertschöpfungsverteilung zu generieren.

### 3.4 Identifikation der aktuellen Wertschöpfungsstruktur und -tiefe

In Analogie zu der Referenzstruktur wird auch bei der Identifikation der aktuellen Wertschöpfungsstruktur eine Aufteilung in die Fahrzeugdomänen Antriebsaggregat, Antriebsstrang, Fahrwerk, Karosseriestruktur, Exterieur, Interieur sowie Elektrik/Elektronik vorgenommen, vgl. Abb. 3-16. Dabei liegt der Wertschöpfungsanalyse ein durchschnittliches Fahrzeug der Kompaktklasse zugrunde. Die absoluten Wertschöpfungsumfänge der einzelnen Systeme und Module dienen primär dazu, die Größenordnung der Wertschöpfung zu charakterisieren und sind in diesem Sinne als Näherungswerte zu verstehen. Für eine exakte quantitative Bestimmung der Wertschöpfung sind u.a. detaillierte Kenntnisse über die Produktionsprozesse und -technologien, die Material- und Produktionskosten, die produzierten Stückzahlen sowie die betriebsinternen Prozesse erforderlich. Zudem ist anzumerken, dass die Wertschöpfungstiefe der einzelnen Module hersteller- und fahrzeugspezifisch variieren kann.

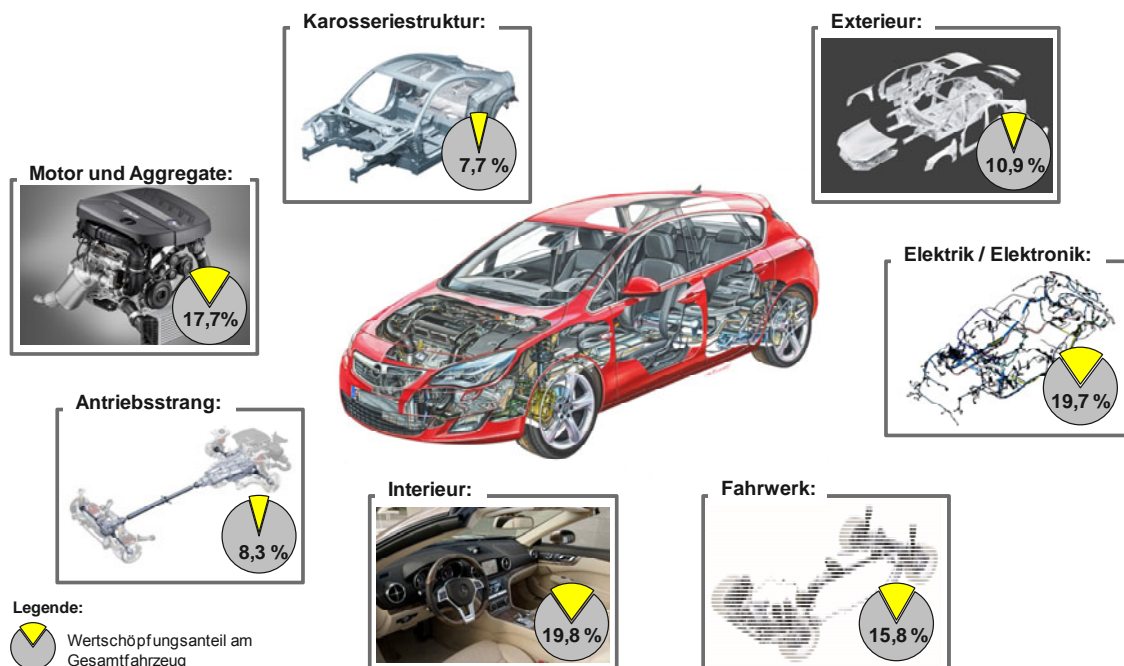


Abb. 3-16: Wertschöpfungsanteil der einzelnen Fahrzeugdomänen



### 3.4.1 Wertschöpfungsverteilung im Segment Antriebsaggregat

Zu den Komponenten des Antriebsstrangs zählen neben dem Grundmotor auch das Kraftstoffsystem, das Motorkühlsystem, die Luftversorgung, die Abgasanlage sowie die Nebenaggregate. Das Motormanagement wird wie sonstige Motorelektronik dem Segment Elektrik/Elektronik zugeordnet. Abb. 3-17 illustriert die Aufteilung der Wertschöpfung auf die Module des Antriebsaggregats. Dabei ist der Anteil von ca. 18 % an der gesamten Fahrzeugwertschöpfung vergleichsweise hoch. Innerhalb dieses Bereiches bildet der Grundmotor mit ca. 65 % den größten Wertanteil.

Generell betreiben nahezu alle Großserien-Automobilhersteller eigene Motorenwerke und besitzen daher besonders im Bereich des Grundmotors den größten Wertschöpfungsanteil. Abgesehen von dieser Kernkompetenz ist jedoch bei den anderen Modulen der Wertschöpfungsanteil der Zulieferer höher. Dabei ist anzumerken, dass die OEM trotz des Fremdbezuges starken Einfluss auf die Gestaltung dieser Bauteile nehmen. So werden von den Herstellern z. B. eigene Regelalgorithmen zur Motorsteuerung entwickelt, welche durch den Zulieferer in das Motormanagement integriert werden müssen. Diese Algorithmen stellen ein verschlüsseltes Subsystem dar, welches als Black-Box in das System des Zulieferers implementiert wird. Auch bei weiteren Motorenkomponenten können die Automobilhersteller, bedingt durch die hohen Absatzzahlen und die resultierende Marktmacht, die Entwicklungsaktivitäten der Zulieferer steuern bzw. in Entwicklungskooperationen hersteller-spezifische Bauteile realisieren.

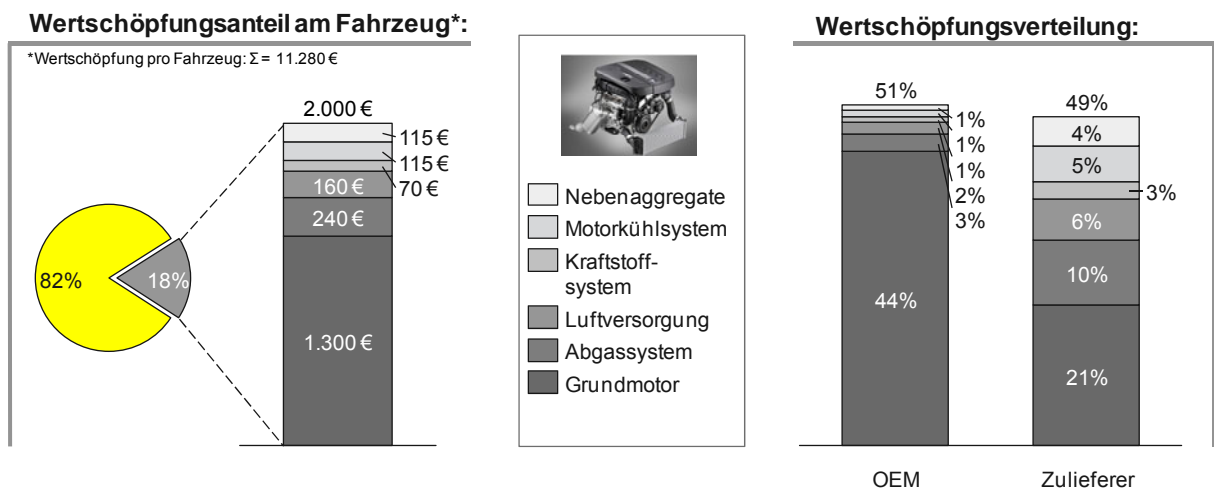


Abb. 3-17: Wertschöpfungsstruktur im Segment Antriebsaggregat [MER04]

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Wertschöpfungsverteilung zwischen den Zulieferern und den Automobilherstellern im Segment des Antriebsstrangs ausgeglichen ist. Ursächlich dafür ist vor allem der hohe Wertanteil des Grundmotors von 65 % an der Gesamtwertschöpfung des Antriebsaggregats.

### 3.4.2 Wertschöpfungsverteilung im Segment Antriebsstrang

Zu den Hauptkomponenten des Antriebsstrangs gehören das Getriebe, die Antriebswellen, das Differenzial sowie die Antriebselektronik. Die Wertschöpfungsverteilung innerhalb dieses Segments ist in Abb. 3-18 dargestellt. Einen hohen Wertschöpfungsanteil hat das Getriebe, welches durchschnittlich über 60 % der Wertschöpfung des gesamten Antriebsstrangs ausmacht. Bei den anderen Modulen ist anzumerken, dass insbesondere die Antriebselektronik in den letzten Jahren signifikant an Bedeutung gewonnen hat. Dies lässt sich u. a. durch den verstärkten Einsatz von automatisierten Getrieben begründen, welche einen deutlich höheren Elektronik- und Softwareanteil besitzen als konventionelle Getriebe.

Vor allem bei der Getriebeentwicklung und -produktion unterscheiden sich die Strategien der verschiedenen Automobilhersteller stark. Dabei besitzen, aufgrund eigener Werke zur Getriebefertigung und einem hohen Eigenleistungsanteil, Unternehmen wie die Daimler AG, die Ford Motor Company (Joint Venture mit GETRAG), General Motors oder die Volkswagen AG eine besonders hohe Fertigungstiefe. Daneben existieren verschiedene Fahrzeughersteller, die verstärkt Getriebe fremdbeziehen. Neben GETRAG haben sich weitere große Systemintegratoren wie ZF, Valeo, Aisin, Dana oder Magna Steyr im Markt etabliert. Dabei konnten einige dieser Unternehmen im Rahmen der Elektrifizierung des Antriebsstranges ihren Wertschöpfungsanteil deutlich steigern. ZF entwickelt und produziert z. B. Automatikgetriebe mit integriertem Elektromotor für Hybridfahrzeuge. Diese Hybridantriebe besitzen einen modularen Aufbau und sind somit in diversen Fahrzeugklassen einsetzbar. Neben den genannten Systemintegratoren haben sich zudem einige Getriebeelektronik- und Steuerungsspezialisten am Markt etabliert. Zudem besitzen auch Engineering Dienstleister wie die IAV oder Ricardo Kompetenzen bei der ganzheitlichen Integration von Motor und Getriebe sowie der zugehörigen Elektronik und Software.

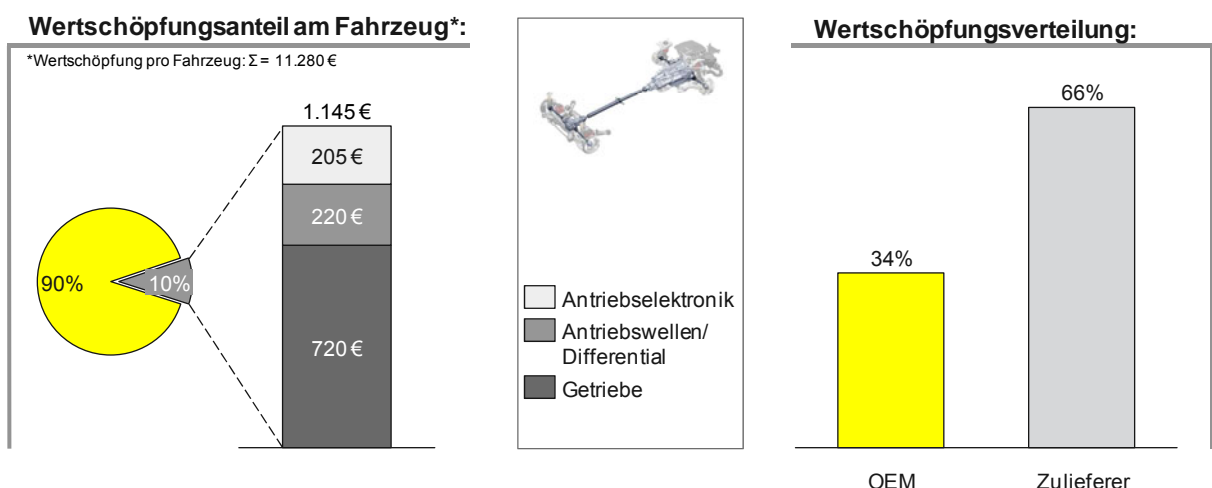


Abb. 3-18: Wertschöpfungsstruktur im Segment Antriebsstrang [MER04]

Aufgrund der gestiegenen Komplexität der Antriebselektronik und den besonderen Anforderungen an hybridisierte Antriebsstränge entfällt auf die Zulieferer ein vergleichsweise ho-

her Wertschöpfungsanteil von ca. 65 %. Demnach verbleibt den Automobilherstellern in diesem Bereich, trotz der Entwicklungs- und Produktionsaktivitäten einiger OEM bei Getrieben, lediglich ein Wertschöpfungsanteil von ca. 35 %.

### 3.4.3 Wertschöpfungsverteilung im Segment Karosserie und Exterieur

In diesem Segment wird der Fahrzeugaufbau in die beiden Bereiche Karosserie sowie Exterieur unterteilt. Das Exterieur beinhaltet die Hauben, Klappen, Türen, Front- und Rearend sowie alle sonstigen Anbauteile. Im Gegensatz dazu umfasst der Bereich Karosserie den Vorderwagen, die Fahrgastzelle und den Hinterwagen. Die zugehörige Wertschöpfungsaufteilung ist in Abb. 3-19 dargestellt.

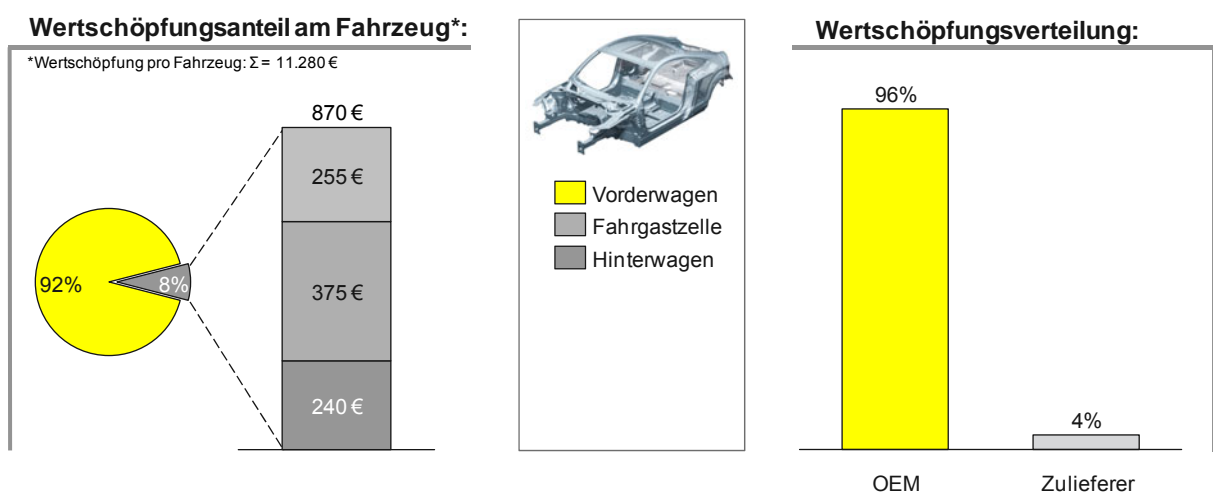


Abb. 3-19: Wertschöpfungsstruktur im Segment Karosserie [MER04]

Besonders die Entwicklung und Produktion der Karosserie stellt ein Herzstück der Automobilproduktion dar und ist in der Regel eine der Kernkompetenzen jedes OEM. Dabei bedingen die hohen Investitionskosten für die automatisierten Produktionsmittel des Presswerks und des Rohbaus, dass kaum Zulieferstrukturen im Bereich des Karosseriebaus vorzuweisen sind. Diese vergleichsweise wenigen Zulieferer besitzen einen nur geringen Anteil an der Gesamtwertschöpfung von unter 5 %, der größtenteils aus der Bereitstellung der Presswerkzeuge, der Bleche sowie der Fertigung von Nischenfahrzeugen resultiert. Darüber hinaus existieren allerdings auch Zulieferer, die komplette Karosseriemodule herstellen. Ein Beispiel dafür ist das Unternehmen Voestalpine, welches sich, durch die Akquisition eines Engineering Dienstleisters, eines Rohkarossen-Herstellers und eines Werkstoffspezialisten, vom Pressteil Zulieferer zum Systemintegrator im Bereich Karosserie entwickeln konnte. Vor allem wegen der steigenden Anzahl an Derivaten und dem hohen Kostendruck ist die Fremdfertigung von Karosseriebauteilen grundsätzlich interessant für die Automobilhersteller. Weitere Treiber für eine verstärkte Einbindung der Zulieferer sind der Einsatz neuer Werkstoffkombinationen (Hybridbauweise), innovative Füge-technologien sowie die Erschließung neuer Volumenmärkte, welche eine Eigenfertigung in Frage stellen. In diesem Zusammenhang haben aber auch die OEM in den letzten Jahren ihre Karosserieproduktion

flexibilisiert mit der Zielsetzung, die vorhandenen Produktionskapazitäten möglichst optimal auszulasten. [MER04]

Im separat betrachteten Bereich des Exterieurs liegt eine von der Karosserie abweichende Wertschöpfungsverteilung vor. Hier finden ca. 55 % der Wertschöpfung bei den Automobilherstellern statt, der verbleibende Teil der Komponenten und Module wird fremdbezogen. Die Aufteilung der Wertschöpfung unter den Komponenten des Bereiches Exterieur ist in Abb. 3-20 dargestellt.

In dem Bereich des Exterieurs haben sich Modullieferanten entwickelt, die komplexe Module aus unterschiedlichsten Materialien fertigen. Vor allem der hohe Kunststoffanteil erschwert eine Integration der Modulherstellung in die Fertigungsstrukturen der OEM, da diese Bauteile aufgrund der vergleichsweise hohen Komplexität nicht in vorhandenen Strukturen bearbeitet werden können. Hervorzuheben sind ebenfalls die Beleuchtungsanlage, die Schließanlage und die Fenster. In diesen Bereichen besitzen die Zulieferer spezielle Kompetenzen, beispielsweise auf dem Gebiet der Glasherstellung oder der Mechatronik, welche bei den OEM nicht vorhanden sind. Dabei ist der im Vergleich zur Karosserie niedrigere Wertschöpfungsanteil der Automobilhersteller Ergebnis strategischer Entscheidungen der OEM. Haupttreiber hierfür ist die geforderte hohe Innovationsdynamik in volatilen Märkten sowie der Trend zu immer komplexeren Designelementen, welche den Einsatz von neuen Materialien erforderlich macht. [MER04]

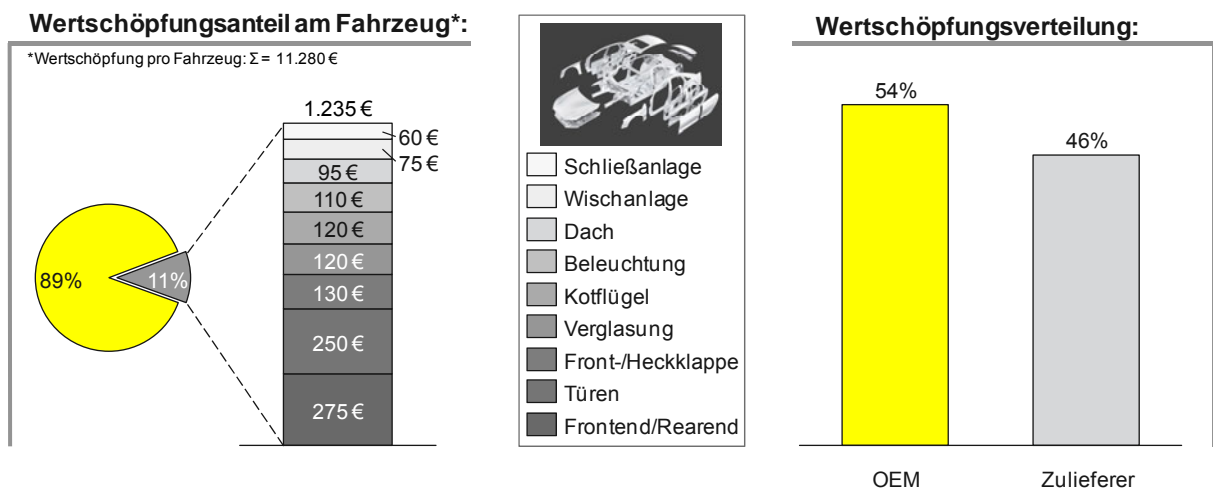


Abb. 3-20: Wertschöpfungsstruktur im Segment Exterieur [MER04]

Insgesamt ist festzustellen, dass die Fahrzeughersteller im gesamten Segment der Karosserie und des Exterieurs einen gegenüber den Zulieferern erhöhten Anteil an der Wertschöpfung haben. Dabei ergibt sich ein kumulierter Anteil von ca. 70 %, welcher überwiegend aus den Aktivitäten im Bereich des Rohbaus und der Endmontage resultiert.

### 3.4.4 Wertschöpfungsverteilung im Segment Fahrwerk

Das Segment des Fahrwerks hat in den letzten Jahren in der Großserienfertigung verstärkt an Bedeutung gewonnen, da Fahrspaß, Fahrkomfort und Sicherheit zu den entscheidenden Kundenbedürfnissen zählen und durch das Fahrwerk wesentlich beeinflusst werden. Dabei setzen nicht nur Premiumhersteller auf das vom Kunden wahrnehmbare Differenzierungspotenzial dieses Bereiches, sondern verstärkt auch Volumenhersteller. Vor allem die deutschen Fahrzeughersteller Daimler, BMW und Volkswagen besitzen durch eigene Komponentenwerke Kompetenzen im Fahrwerkssegment. Beispielsweise fertigt die Volkswagen AG am Standort Braunschweig neben Radaufhängungsmodulen auch Achsen, Feder-Dämpfer- und Lenksysteme. Abb. 3-21 veranschaulicht den Wertanteil der einzelnen Komponenten an dem gesamten Fahrwerk sowie die Wertschöpfungsverteilung zwischen OEM und Zulieferern.

Hinsichtlich der fremdbezogenen Bauteile existieren zwar unternehmensspezifische Unterschiede, jedoch wird bei nahezu allen Fahrzeugherstellern das Bremssystem von Zulieferern bereitgestellt. Systemintegratoren übernehmen dabei die Entwicklungs-, Produktions- und Integrationsaktivitäten, wodurch Schnittstellen vermieden und eine optimale Systemqualität dieses sicherheitsrelevanten Systems realisiert wird. Abhängig von dem Geschäftsmodell des Fahrzeugherstellers werden neben dem Bremssystem auch die Räder, das Lenksystem sowie die Fahrwerkselektronik von Zulieferern gefertigt. Zudem werden ausgewählte Zulieferer auch als Entwicklungspartner für Innovationen bei eigengefertigten Komponenten herangezogen. [RAD04]

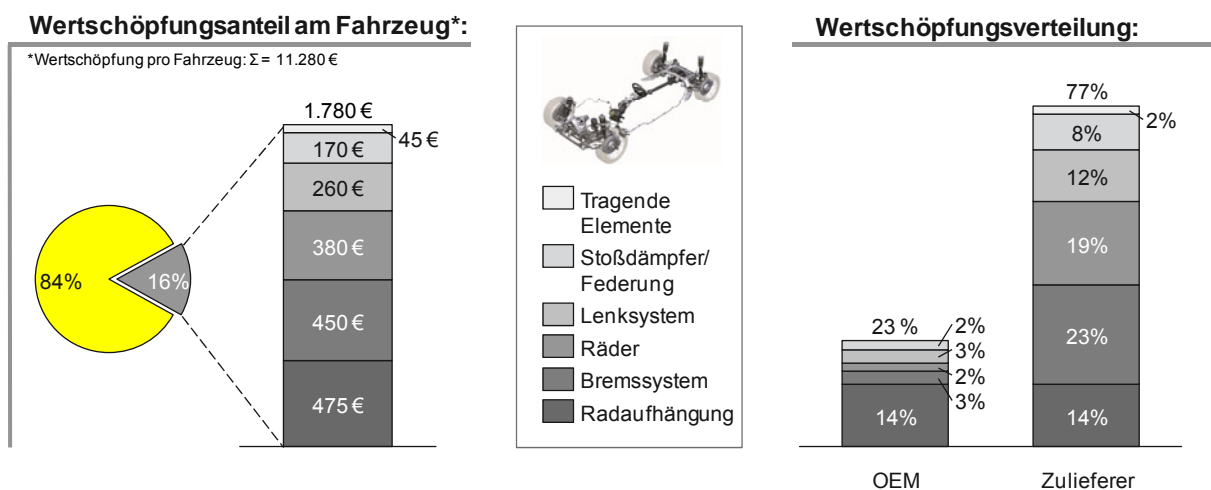


Abb. 3-21: Wertschöpfungsstruktur im Segment Fahrwerk [MER04]

Im Bereich des Fahrwerks ist neben dem Fremdbezug- oder Eigenfertigungsanteil besonders die richtige Auslegung und Abstimmung aller Bauteile für die Wertschöpfung von Bedeutung. Dies liegt darin begründet, dass die Wahl der Fahrwerksparemeter einen starken

Einfluss auf die Fahreigenschaften und somit die Wahrnehmung des Gesamtfahrzeugs hat. Daher besitzen alle Fahrzeughersteller Kompetenzen auf diesem Gebiet und prägen durch die Auslegung und Abstimmung das herstellereigene Fahrgefühl von komfortabel bis hin zu sportlich. Zudem mangelt es den Zulieferern am Gesamtfahrzeugverständnis sowie dem Auslegungsziel für die Umsetzung der Integrationsleistung. [MER04]

Aufgrund des durchschnittlich hohen Anteils an fremdbezogenen Modulen und Systemen sowie der Inanspruchnahme der Zulieferer als Entwicklungspartner besitzen diese den größeren Wertschöpfungsanteil im Segment des Fahrwerks. Dabei ist festzustellen, dass die Automobilhersteller sich verstärkt auf Bereiche konzentrieren, welche einen großen Einfluss auf das vom Kunden wahrgenommene Fahrgefühl haben. Durch diese Fokussierung entfällt auf die Automobilhersteller ca. ein Viertel der gesamten Wertschöpfung des Segmentes Fahrwerk.

### **3.4.5 Wertschöpfungsverteilung im Segment Interieur**

Der Innenraum von Personenkraftwagen ist geprägt von variantenreichen Ausstattungsoptionen, die für den Kunden ein hohes Potenzial zur Individualisierung bieten. Für die Umsetzung dieser Variantenvielfalt wurden die Prozesse in den letzten Jahren reorganisiert und der Innenraum konsequent modularisiert. Die Großserienhersteller beschränken sich dabei weitestgehend auf die Vorgabe des Designs und die Integration der Module. Zusätzlich steuern sie durch Forschungs- und Entwicklungskooperationen den Entstehungsprozess und übernehmen die Absicherung. Den Großteil der Entwicklungsleistung, die Produktion sowie die Logistik übernehmen folglich Zulieferer. Häufig erfolgt hier im Rahmen des Just-in-Sequence Konzeptes eine Sicherstellung der Logistik bis hin zur Fertigungslinie. [SCH08b] Resultierend wird durchschnittlich nur ca. ein Fünftel der Gesamtwertschöpfung seitens der OEM erbracht.

Abb. 3-22 veranschaulicht die Aufteilung der Wertschöpfung zwischen den Komponenten im Segment des Interieurs. Hervorzuheben sind hier die Module Cockpit, Sitze sowie die Interieur-Elektronik, welche einen besonders hohen Anteil an der Gesamtwertschöpfung besitzen. Diese Komponenten werden weitestgehend von hoch spezialisierten Zulieferern bezogen, welche durch vielfältige Innovationen, beispielsweise im Bereich der Haptik von Oberflächen, einen deutlichen Kompetenzvorsprung gegenüber den Automobilherstellern besitzen. Zusätzlich bedingen die kurzen Produktlebenszyklen, die steigende Komplexität der Module und die hohe Variantenvielfalt, dass die Automobilhersteller auf eine Eigenfertigung dieser Module in der Regel verzichten. [MER04]

Trotz der mit einer Auslagerung der Produktions- und Entwicklungsaktivitäten der Komponenten des Innenraums verbundenen Vorteile entscheiden sich einige Hersteller dennoch für eine Integration verschiedener Teilleistungen. Hier setzen vor allem Hersteller von Premiumfahrzeugen auf eine markenprägende Wertschöpfungsstrategie, in der der OEM einen möglichst hohen Einfluss auf die Ausschöpfung der Differenzierungspotenziale ausüben kann.

Als Beispiel ist hier die Volkswagen AG zu nennen, welche speziell für Oberklassefahrzeuge wie den VW Phaeton eine eigene Sitz- sowie Cockpitfertigung betreibt. [MER04, VWA04]

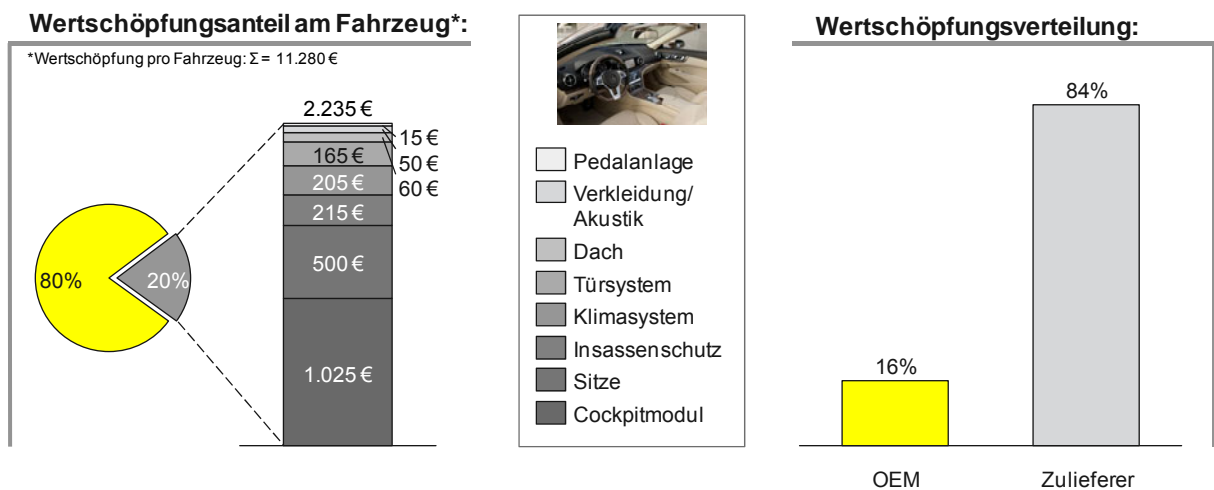


Abb. 3-22: Wertschöpfungsstruktur im Segment Interieur [MER04]

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Wertschöpfungsanteil seitens der OEM in diesem Segment vergleichsweise gering ist. Dabei konzentrieren sich die Großserienhersteller in der Regel auf die Integration der Module und übertragen Entwicklungs-, Produktions- und Logistikaktivitäten an spezialisierte Zulieferer.

### 3.4.6 Wertschöpfungsverteilung im Segment Elektrik/Elektronik

Das Segment der Elektrik und Elektronik tangiert alle Bereiche des Fahrzeugs und stellt somit eine Querschnittsfunktion im Fahrzeug dar. Die zugehörigen E/E-Komponenten wie Sensoren, Aktuatoren und Steuergeräte können dabei nach ihrer Funktion den Kategorien Sicherheitselektronik, Motormanagement, Bordnetz- und Bussystem, Komfortelektronik, Stromversorgung, Kommunikation und Entertainment sowie Fahrwerks- und Antriebselektronik zugeordnet werden. In Abb. 3-23 sind die einzelnen Bereiche und ihr Wertanteil dargestellt. Grundsätzlich ist festzustellen, dass der Wertschöpfungsanteil der E/E am Gesamtfahrzeug kontinuierlich steigt, da die Quantität der elektronischen sowie elektrischen Komponenten in allen Bereichen zunimmt. Der Trend geht hier in Richtung der Substitution von bislang rein mechanischen Komponenten durch elektromechanische Bauteile. Ursächlich dafür sind vornehmlich die zunehmende Elektrifizierung des Antriebsstrangs, die Vorgaben des Gesetzgebers bezüglich der Emissionswerte und den Sicherheitsanforderungen sowie die gestiegenen Kundenanforderungen hinsichtlich Komfort, Unterhaltung und Sicherheit eines Kraftfahrzeuges.

Trotz des relativ hohen Anteils an der Gesamtwertschöpfung wird bei den Automobilherstellern in diesem Segment ein vergleichsweise geringer Wertanteil generiert. In der Regel übernehmen die OEM die Entwicklung der grundlegenden E/E-Architektur und definieren die Anforderungen an die Funktionen sowie die Netzwerkstruktur in einem Lastenheft. Zudem



verantworten sie die Integration und die Montage der Komponenten im Fahrzeug. Von der geringen Fertigungstiefe der Automobilhersteller haben in den letzten Jahren zum einen große Elektronik-Zulieferer wie Bosch, Delphi oder Visteon und zum anderen Zulieferer wie ZF profitiert, welche zu den mechanischen Modulen die gesamte zugehörige Elektronik anbieten. [MER04]

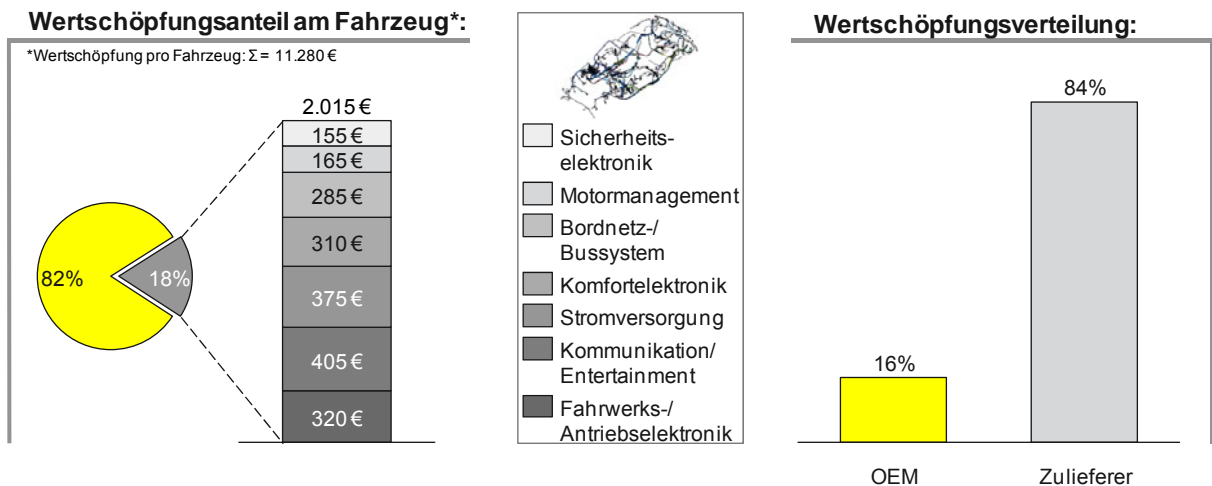


Abb. 3-23: Wertschöpfungsstruktur im Segment Elektrik/Elektronik [MER04]

Zusammenfassend ist festzustellen, dass im Segment der Elektrik und Elektronik der Wertschöpfungsanteil der Zulieferer deutlich höher ist als der der Automobilhersteller. Gleichzeitig bauen aber auch die Fahrzeughersteller selektiv Kompetenzen in der Entwicklung von E/E-Komponenten auf, da diese zunehmend elementare Fahrzeugfunktionen beeinflussen und daher sowohl für das Gesamtfahrzeugverständnis als auch für die Erschließung von Differenzierungspotenzialen gegenüber Wettbewerbern erforderlich sind.

### 3.4.7 Zusammenfassung der Wertschöpfungsverteilung

Die durchschnittliche Wertschöpfungsverteilung je Hauptmodul sowie die historische und zukünftige Entwicklung ist in Abb. 3-24 zusammenfassend dargestellt. Festzustellen ist, dass die Zulieferer insgesamt den mehrheitlichen Anteil an der Wertschöpfung besitzen. Die OEM verfügen insbesondere in den Bereichen Antriebsaggregat sowie Karosserie & Exterieur über ausgeprägte Wertschöpfungsanteile. Ursächlich hierfür sind die Karosseriestruktur sowie der Verbrennungsmotor, die traditionell als Kernelemente der Automobilhersteller angesehen werden. Daher verfügen alle OEM über umfangreiche Entwicklungs- und Produktionskompetenzen sowie entsprechende Produktionskapazitäten in diesen Bereichen.

Insgesamt werden die aktuell zu beobachtenden modulspezifischen Unterschiede in der Wertschöpfungsverteilung auch zukünftig bestehen bleiben. Aufgrund des hohen Wertschöpfungsanteils der Zulieferer bei vielen Systemen und Komponenten sind bis 2025 nur noch vergleichsweise geringe Verschiebungen zu erwarten. Insbesondere in den Bereichen Fahrwerk, Interieur und Elektrik/Elektronik, die traditionelle Produktfelder der Zulieferer darstellen,



wird der Wertschöpfungsanteil für Zulieferer weiterhin auf einem hohen Niveau bleiben. Bei den übrigen Hauptmodulen wird die Automobilzulieferindustrie ihren Anteil an der Wertschöpfung sogar leicht vergrößern können. Hervorzuheben ist dabei das Segment Antriebsaggregat. Im Zusammenhang mit der Umsetzung von Baukasten- und Modulstrategien sowie der zunehmenden Verbreitung von aufgeladenen Motoren mit Direkteinspritzung ist die relative Wertschöpfung der Automobilhersteller in den letzten Jahren bereits gesunken. Durch die mögliche Auslagerung von weiteren Motorkomponenten wie Nocken- und Kurbelwellen an Zulieferer wird sich der Wertschöpfungsanteil der OEM weiter reduzieren. Die größten Wertschöpfungsveränderungen sind zukünftig allerdings im Zusammenhang mit der Elektrifizierung des Antriebsstrangs zu erwarten. Die Untersuchung dieser Veränderungen ist daher Gegenstand der nachfolgenden Kapitel 4 und 5.

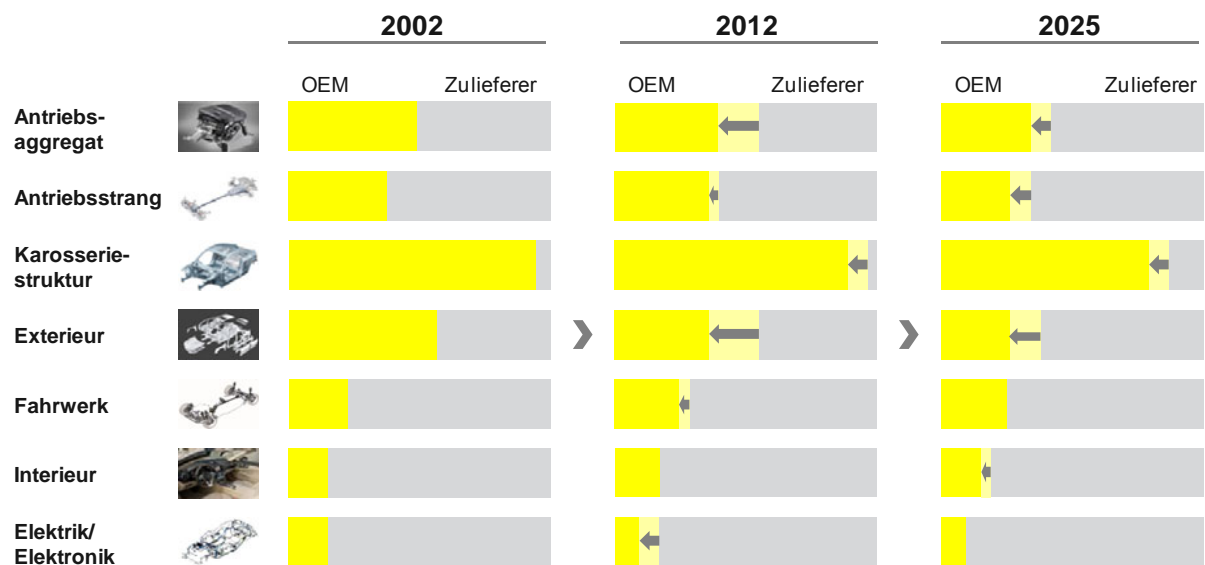


Abb. 3-24: Entwicklung der Wertschöpfungsverteilung je Hauptmodul [OWY12]

## 4 Produkt- und Prozessanalyse für Elektrofahrzeuge (AP 2)

Innerhalb des zweiten Arbeitspunktes wurden die Produkt- sowie die erforderlichen Produktionsstrukturen von Elektrofahrzeugen untersucht. Zur Analyse der Produktstruktur wurde in einem ersten Schritt eine Marktrecherche über die derzeit weltweit angebotenen batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge durchgeführt. Aufbauend auf diesem Marktüberblick wurden zwei Referenzfahrzeuge ausgewählt, die die Basis zur Bestimmung einer Referenzstruktur für Elektrofahrzeuge bilden. Weiterer Bestandteil des zweiten Arbeitspunktes war die Analyse der Produktionsstruktur für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge mit der Zielsetzung einer zukünftigen Serienproduktion. Dabei wurden verschiedene Produktionsstrategien und Realisierungsformen für eine Produktion von Elektrofahrzeugen untersucht. Darüber hinaus wurde die Produktionsstruktur für die Schlüsselkomponenten Elektromotor, Batterie und Leistungselektronik detaillierter analysiert, indem die einzelnen Produktionsschritte dieser Komponenten beschrieben wurden. Die Ergebnisse des zweiten Arbeitspunktes werden im vorliegenden Kapitel zusammenfassend dargestellt, vgl. Abb. 4-1.

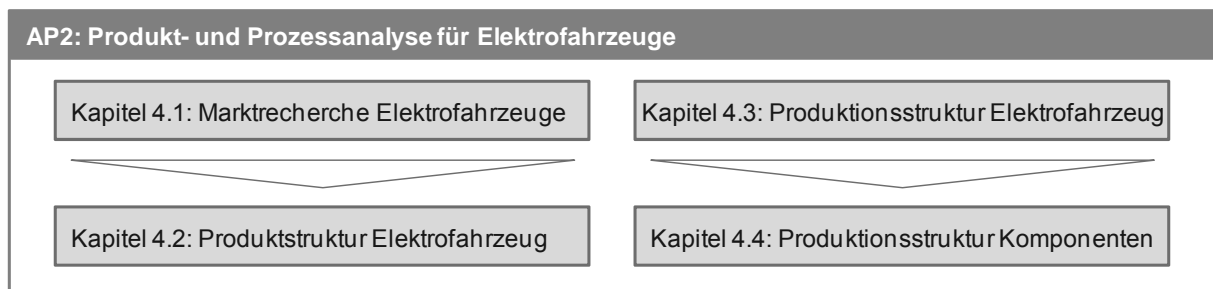


Abb. 4-1: Gliederung Kapitel 4 - Produkt- und Prozessanalyse für Elektrofahrzeuge

### 4.1 Marktrecherche batteriebetriebener Elektrofahrzeuge

Der Markt für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge befindet sich aktuell noch in der Entstehungsphase. Abb. 4-2 zeigt die Entwicklung der BEV-Neuzulassungszahlen seit dem Jahr 2006 sowie die Marktanteile von Elektrofahrzeugen in der EU im Jahr 2012. Auffallend sind die hohen Wachstumsraten der Neuzulassungen im Jahr 2011 (+ 645 %) und im Jahr 2012 (+ 105 %). Dieser Effekt ist unter anderem auch auf das in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegene Marktangebot von batteriebetriebenen Fahrzeugen zurückzuführen, wobei mittlerweile viele Fahrzeughersteller Elektrofahrzeuge in ihrem Produktportfolio führen bzw. vor der Markteinführung stehen. Allerdings ist der Marktanteil von BEVs am Gesamtfahrzeugmarkt der EU mit ca. 0,2 % (Stand 2012) aktuell noch sehr gering. Die Aufteilung des Elektrofahrzeugmarktes auf die Fahrzeugtypen im Jahr 2012 zeigt, dass insgesamt nur wenige Modelle nennenswerte Marktanteile erzielen konnten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Modelle Citroen C-ZERO und Peugeot iOn nahezu baugleich mit dem Mitsubishi i-MiEV sind (Badge-Engineering). Dementsprechend entfielen ca. 45 % der verkauften Elektrofahrzeuge in der EU auf ein Grundmodell. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen das Modellangebot noch insgesamt deutlich geringer ist, so dass einzelne Modelle hohe Marktanteile auf sich vereinen können.

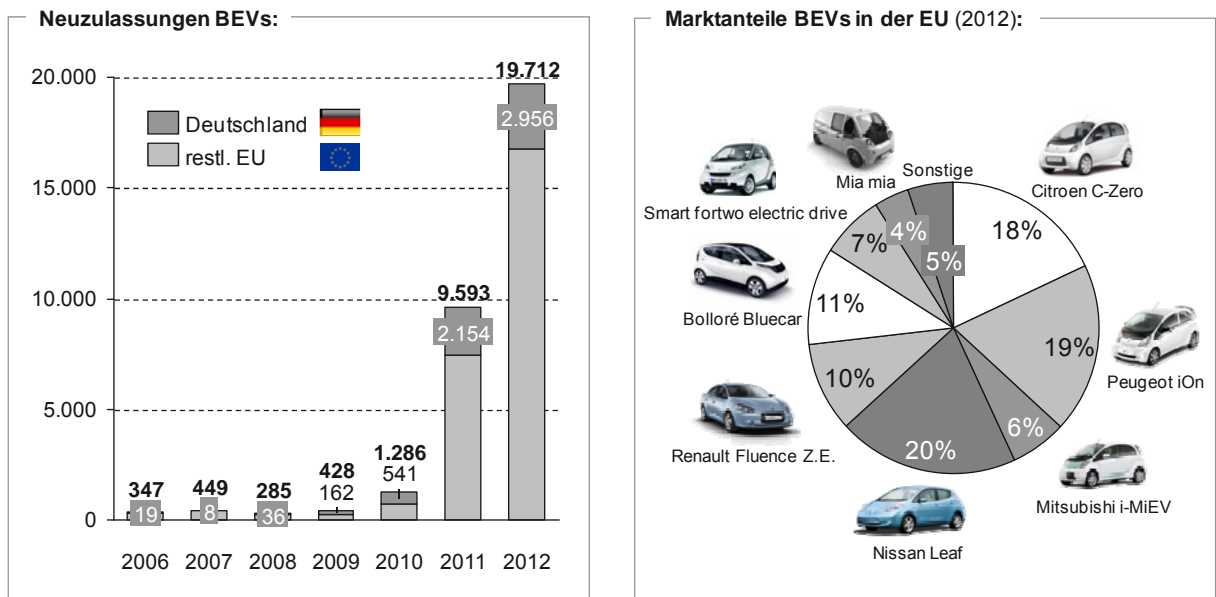


Abb. 4-2: Neuzulassungen und Marktanteile von BEVs in der EU [EEA14, KBA14, ICT14a]

Zur Erstellung eines Gesamtüberblicks über das derzeitige Angebot von Elektrofahrzeugen wurde innerhalb des zweiten Arbeitspunktes eine umfassende Marktrecherche der derzeit weltweit angebotenen batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge durchgeführt. Insgesamt wurden 520 Elektrofahrzeuge identifiziert und beschrieben (Stand Januar 2012). Die Ergebnisse wurden für weitere Auswertungen in einer Datenbank dokumentiert. Abb. 4-3 zeigt einen Ausschnitt aus dieser Datenbank.

Bild	Fahrzeughersteller	Fahrzeugname	Fahrzeugklasse	Fahrzeugklasse (Spek)	SOP	EOP	Preis in €	Herkunftsland
	AIXAM-MEGA	Nice Mega City	Kleinstwagen	A	2011		15.295,00	Frankreich
	AIXAM-MEGA	Nice Mega City 2+2	Kleinstwagen	A			15.295,00	Frankreich
	AIXAM-MEGA	Multitruck	Nutzfahrzeug	N1				Frankreich
	Alké	ATX 100E / 200E	Nutzfahrzeug	N1	2010			Italien
	Alké	ATX 280E	Nutzfahrzeug	N1	2010			Italien

Abb. 4-3: Ausschnitt aus der Elektrofahrzeug-Datenbank

Die Datenbank enthält neben den technischen Eigenschaften (z. B. Batteriekapazität, Leistung Elektromotor, Gewicht, Abmessungen) auch weitere Informationen zu den Fahrzeugen (z. B. Fahrzeugpreis, Start-of-Production, Fahrzeugklasse). In einem nächsten Schritt wurden die Einträge der Datenbank ausgewertet, um das aktuelle Angebot an Elektrofahrzeugen zu charakterisieren. Dabei ist eine Unterscheidung zwischen seriennahen bzw. serienreifen Fahrzeugen und Konzeptfahrzeugen erforderlich. Insgesamt ist ein Großteil (281 Fahrzeuge) der vorgestellten Elektrofahrzeuge der Kategorie Konzeptfahrzeug zuzuordnen. Diese Fahrzeuge werden von Automobilherstellern z. B. auf Messen vorgestellt, um unter anderem die Resonanz des Publikums zu testen und das Image der Marke zu gestalten. Die technische Realisierbarkeit in einer Serienproduktion ist dabei häufig nicht oder nur mit großem Änderungsbedarf gegeben. Seriennahe Fahrzeuge stehen hingegen oft kurz vor der Markteinführung und sind technisch weitestgehend abgesichert.

Abb. 4-4 zeigt die Verteilung der identifizierten Elektrofahrzeuge auf die Fahrzeugklassen, wobei zwischen Serien- und Konzeptfahrzeugen unterschieden wurde. Dabei ist eine deutliche Häufung der Ergebnisse in den Fahrzeugklassen Kleinst- und Kleinwagen, Sportwagen, Nutzfahrzeuge sowie Mittelklasse zu erkennen. Diese Fahrzeugklassen wurden daher detaillierter untersucht.

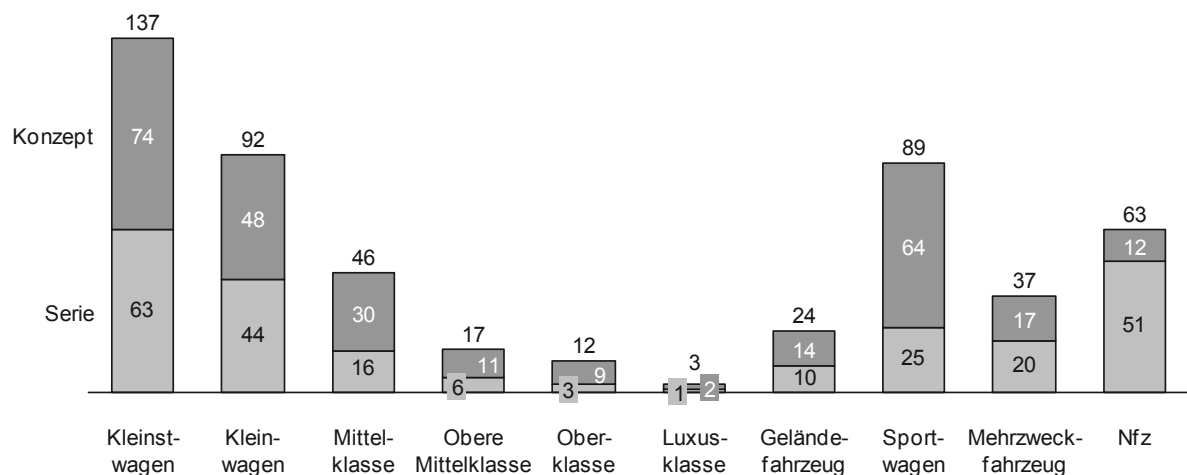


Abb. 4-4: Verteilung der Elektrofahrzeuge auf die Fahrzeugklassen

In Abb. 4-5 ist die Verteilung der Reichweite, der Batteriekapazität sowie der Motorleistung innerhalb der Fahrzeugklassen Kleinstwagen, Kleinwagen, Mittelklasse und Sportwagen dargestellt. Zusätzlich wurde ein für diese Klasse repräsentatives Elektrofahrzeug angegeben. Bei einem Vergleich der beiden Fahrzeugklassen erkennt man deutliche Unterschiede hinsichtlich der oben genannten Kenngrößen. Fahrzeuge der Kategorie Kleinstwagen werden ausschließlich für den Städteinsatz konzipiert und weisen daher im Durchschnitt eine geringe Batteriekapazität und Reichweite auf. Da viele Fahrzeuge dieser Kategorie nur für geringe Geschwindigkeiten ausgelegt werden, sind auch das Fahrzeuggewicht und die durchschnittliche Motorleistung deutlich geringer. Traditionell bilden Kleinstwagen diejenige Fahrzeugklasse mit den meisten Elektrofahrzeugmodellen. Dies ist vor allem durch die begrenzte

Reichweite von Elektrofahrzeugen begründet, die diese für den Einsatz in städtischen Gebieten mit vergleichsweise kurzen Fahrstrecken prädestiniert.

Fahrzeuge der Kategorie Kleinwagen (z. B. VW Polo) sowie der Mittelklasse (z. B. VW Golf) werden in der Regel auch für längere Fahrten auf Landstraßen oder Autobahnen ausgelegt. Im Vergleich zu Kleinwagen weisen Elektrofahrzeuge in diesen Fahrzeugklassen höhere durchschnittliche Motorleistungen sowie eine größere Batteriekapazität auf. Aufgrund des durchschnittlich höheren Fahrzeuggewichts ist allerdings auch der Energieverbrauch größer.

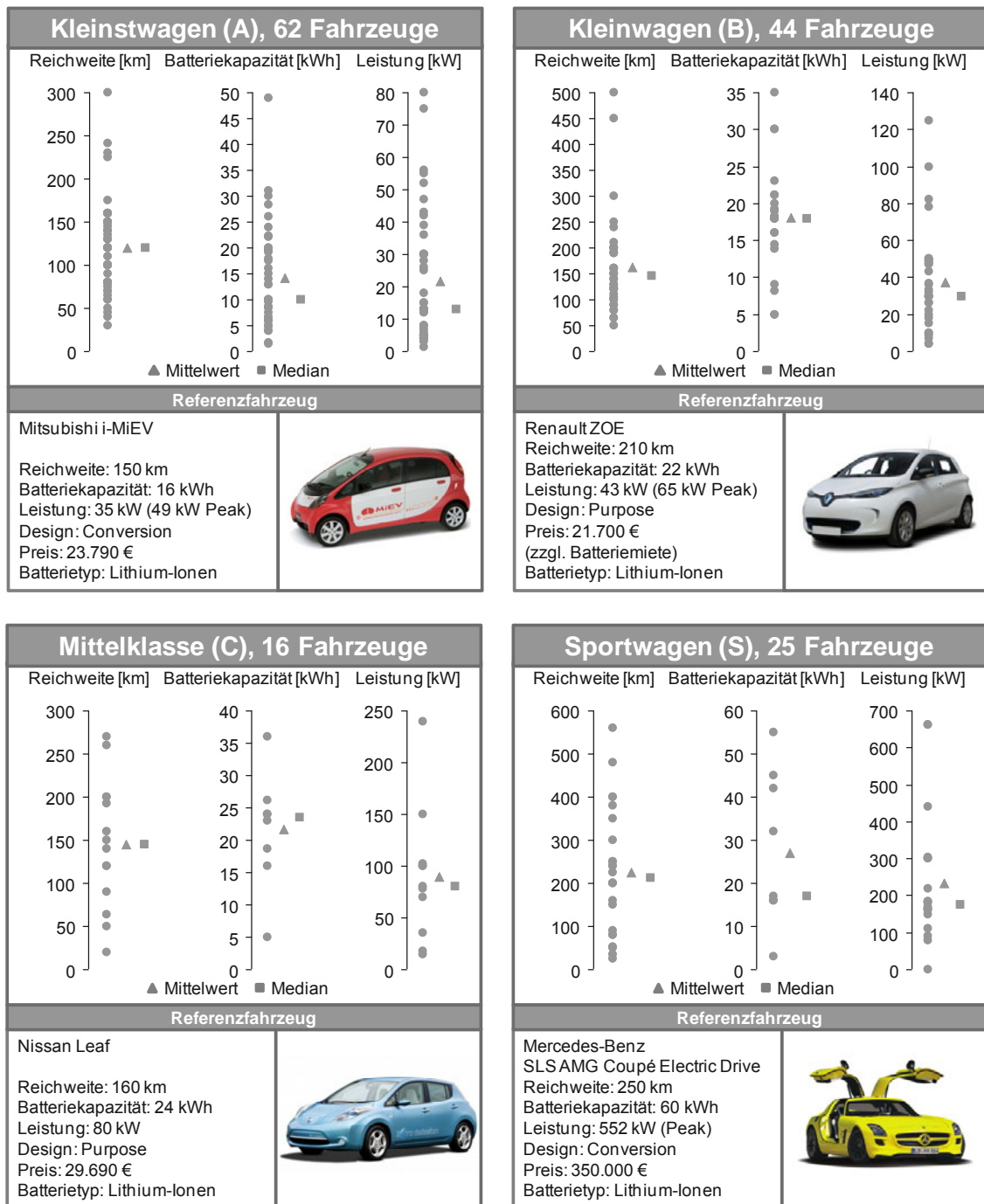


Abb. 4-5: Auswertung der Marktrecherche

Bei Elektrofahrzeugen der Fahrzeugklasse Sportwagen stehen die fahrdynamischen Potenziale des elektrischen Antriebs (hohes Drehmoment bei geringen Drehzahlen, gutes Beschleunigungsverhalten) im Vordergrund. Gegenüber den anderen Fahrzeugklassen sind die durchschnittlichen Motorleistungen daher deutlich höher. Hinsichtlich der Batteriekapazität muss ein Kompromiss zwischen geringem Fahrzeuggesamtgewicht (niedrige Kapazität) und ausreichender Reichweite bei sportlicher Fahrweise (hohe Kapazität) gefunden werden. Aufgrund der hohen Kundenwahrnehmung, der Preisbereitschaft potenzieller Käufer sowie der Imagewirksamkeit für die Marke werden überproportional viele Elektrofahrzeuge in dieser Kategorie angeboten bzw. als Konzeptfahrzeuge vorgestellt.

Im weiteren Projektverlauf wurden die Fahrzeugklassen Kleinst- und Kleinwagen sowie Mittelklasse fokussiert betrachtet, da eine Verbreitung von Elektrofahrzeugen für den Massenmarkt zunächst vor allem in diesen Segmenten erwartet wird. Auf der Grundlage der Marktrecherche wurden die Elektrofahrzeuge Mitsubishi i-MiEV (Kleinstwagen) und Nissan Leaf (Mittelklasse) zur detaillierten Analyse ausgewählt. Der kumulierte Marktanteil des Nissan Leafs und des Mitsubishi i-MiEVs (inkl. Citroen C-ZERO und Peugeot iOn) in der EU lag im Jahr 2012 bei ca. 65 %. Diese Fahrzeuge gehören zu den ersten in (Klein-)Serie produzierten Elektrofahrzeugen, bei denen der Elektroantrieb bereits in der Fahrzeugentwicklungsphase berücksichtigt wurde.

Der Kleinstwagen Mitsubishi i-MiEV basiert auf dem verbrennungsmotorischen Fahrzeug Mitsubishi i und wird seit dem Jahr 2009 produziert. Als Traktionsmotor wird ein permanentmagnetisierter Synchronmotor im Heck eingesetzt, welcher 49 kW (67 PS) leistet und das 1.100 kg schwere Fahrzeug auf eine Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h beschleunigt. Die im Boden des i-MiEV untergebrachte 200 kg schwere Traktionsbatterie besteht aus 88 Lithium-Ionen-Zellen, welche zusammen eine Nennkapazität von 16 kWh aufweisen. Sie können per Schnellladung innerhalb von 30 min zu 80 % geladen werden. Die elektrische Reichweite beträgt 150 km im NEFZ. [MIT14]

Der Nissan Leaf gehört zur Mittelklasse und wird seit dem Jahr 2010 produziert. Er stellt das erste Großserien-Elektrofahrzeug dar, welches von Anfang an ausschließlich als elektrisch angetriebenes Fahrzeug konzipiert wurde (Purpose Design). Der Synchronmotor an der Vorderachse leistet 80 kW (109 PS) und ermöglicht eine Höchstgeschwindigkeit von 145 km/h. Rund ein Fünftel des Fahrzeuggewichts von 1.521 kg entfällt auf die Lithium-Ionen-Batterie. Ihre Nennkapazität beträgt 24 kWh, die resultierende Reichweite im NEFZ bis zu 160 km. [NIS14]

## 4.2 Produktstruktur eines Pkw mit elektrischem Antriebsstrang

In einem nächsten Schritt wurde die Struktur eines Pkw mit elektrischem Antriebsstrang detailliert analysiert. In Analogie zu der Analyse der Struktur eines Fahrzeugs mit konventionellem Antriebsstrang (AP 1) wurde dabei eine Unterteilung des Gesamtfahrzeugs in die Domänen „Antriebsaggregat“, „Antriebsstrang“, „Fahrwerk“, „Karosserie“, „Exterieur“, „Interieur“

sowie „Elektrik/Elektronik“ vorgenommen. Für jede dieser Domänen wurden die zugehörigen Systeme und Module identifiziert. Zudem wurden in einer weiteren Detaillierungsstufe die System- und Modulbestandteile auf Komponentenebene aufgeführt.

Die Analyse der Produktstruktur für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge wurde anhand der zwei Beispielfahrzeuge Mitsubishi i-MiEV und Nissan Leaf durchgeführt. Abb. 4-6 zeigt den Aufbau des elektrischen Antriebs dieser beiden Fahrzeuge. Die Datengrundlagen für diesen Analyseschritt bildeten unter anderem Fahrzeugzerlegungsberichte. Die detaillierte Struktur eines Pkw mit elektrischem Antrieb ist im Anhang dargestellt, vgl. Kap. 9.3. In den folgenden Unterkapiteln werden die Schlüsselkomponenten eines elektrischen Antriebsstrangs (Elektromotor, Batterie, Leistungselektronik) kurz vorgestellt.

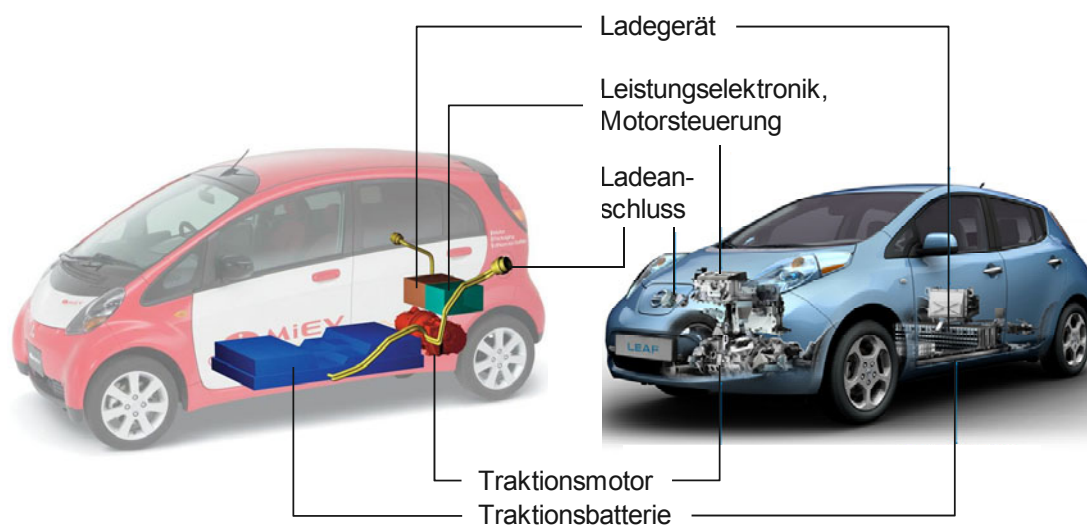


Abb. 4-6: Elektrische Antriebskomponenten im Mitsubishi i-MiEV und Nissan Leaf

Eine Alternative zu rein batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen stellen Brennstoffzellenfahrzeuge dar. Diese Fahrzeuge konnten sich insbesondere aufgrund der hohen Systemkosten sowie der fehlenden Infrastruktur zur Betankung bislang nicht am Markt etablieren. Durch die Möglichkeit der Wasserstoffbetankung existiert grundsätzlich allerdings keine Einschränkung der Reichweite. Brennstoffzellensysteme werden aktuell von verschiedenen OEM, z. B. Daimler, Toyota oder Honda, entwickelt, so dass Markteinführungen in den nächsten Jahren zu erwarten sind. In Unterkapitel 4.2.4 werden daher auch die Schlüsselkomponenten eines Brennstoffzellensystems kurz beschrieben.

#### 4.2.1 Schlüsselkomponente Elektromotor

Das zum Antrieb eines Fahrzeugs erforderliche Drehmoment wird bei Elektrofahrzeugen ausschließlich durch eine elektrische Maschine erzeugt. Dabei ist die Aufgabe der E-Maschine, elektrische in mechanische Energie (Motorbetrieb) bzw. mechanische in elektrische Energie (Generatorbetrieb) umzuwandeln. Mit Ausnahme von Linearantrieben besteht eine E-Maschine immer aus einem ortsfesten Stator und einem sich drehenden Rotor. Die

eigentliche Umwandlung der elektrischen Energie findet im Luftspalt zwischen Stator und Rotor statt. Im Motorbetrieb wird dem System von außen elektrische Energie zugeführt. Zwischen Rotor und Stator wirkende Magnetfelder verursachen Kräfte, die ein nutzbares Drehmoment erzeugen.

Einen Überblick der unterschiedlichen Elektromotortypen stellt Abb. 4-7 dar. Grundsätzlich werden elektrische Maschinen in Gleichstrommaschinen und Wechselstrommaschinen unterteilt. Die Wechselstrommaschinen können zusätzlich in Synchronmaschinen, bei denen sich der Läufer synchron mit dem Drehfeld dreht, und in Asynchronmaschinen, bei denen sich der Läufer asynchron mit dem Drehfeld dreht, klassifiziert werden. Gleichstrom- und Synchronmaschinen können sowohl über Magnetmaterial permanent erregt als auch über eine Erregerwicklung elektrisch (fremd-)erregt werden. [HOF10, WAL11]

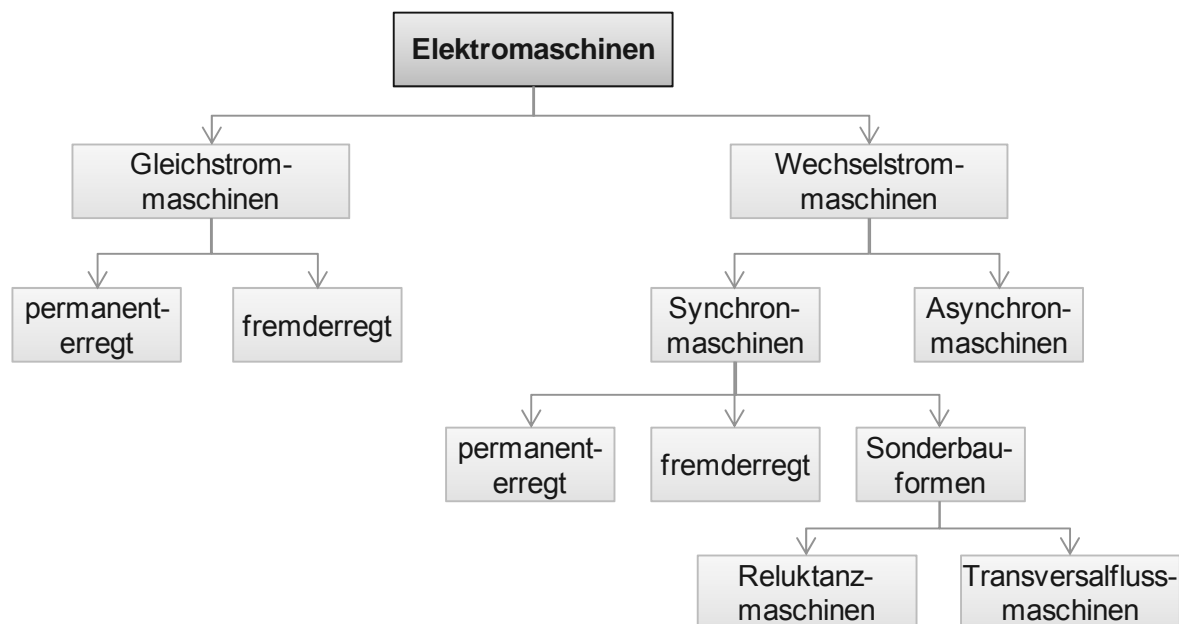


Abb. 4-7: Typenübersicht von Elektromaschinen [HOF10]

Gegenwärtig werden vorwiegend Asynchronmaschinen sowie fremd- und permanenterregte Synchronmaschinen in Elektrofahrzeugen verwendet. Die Synchronmaschinen besitzen das geringste Leistungsgewicht, was aus dem hohen Wirkungsgrad bei geringem Gewicht und Volumen resultiert. Diese sind daher neben den Asynchronmaschinen für den mobilen Einsatz besonders geeignet. Insbesondere die permanenterregte Synchronmaschine weist durch die Verwendung von Magnetmaterialien ein nochmals geringeres Gewicht auf und ist gegenwärtig als Traktionsmotor bei elektrifizierten Antriebskonzepten besonders verbreitet. Nachteilig sind bei diesem Motorkonzept allerdings die hohen Kosten der eingesetzten Permanentmagnete, die u. a. auf die vergleichsweise geringe Rohstoffverfügbarkeit zurückzuführen ist. Während Gleichstrommaschinen aufgrund ihrer geringeren Wirkungsgrade bei erhöhtem Wartungsaufwand als Traktionsmotoren bei elektrischen angetriebenen Pkw keinen



Einsatz finden, stehen geschaltete Reluktanzmaschinen und Transversalflussmaschinen als Sonderformen der Synchronmaschinen erst am Anfang ihrer Entwicklung. [HOF10, WAL11]

In Abb. 4-8 ist der Aufbau eines Elektromotors für Pkw am Beispiel einer Asynchronmaschine dargestellt. Der Elektromotor besteht aus einem Gehäuse, in dem sich der Stator befindet. Über die Wicklungen des Stators wird das erforderliche Magnetfeld erzeugt. In dem Rotor der Asynchronmaschine wird ein Magnetfeld induziert und entsprechend dem Prinzip des stromdurchflossenen Leiters eine Drehkraft erzeugt. Während im Rotor der permanent-erregten Synchronmaschine permanentmagnetisches Material eingesetzt wird, sind im Falle von Asynchron- und fremderregter Synchronmaschine dort Leiter für die magnetische Erregung bzw. Wicklungen für die Fremderregung verbaut. Der Rotor sitzt bei allen Motoren auf einer Rotorwelle und ist über entsprechende Wälzkörper in dem Gehäuse gelagert. [HOF10, WAL11]

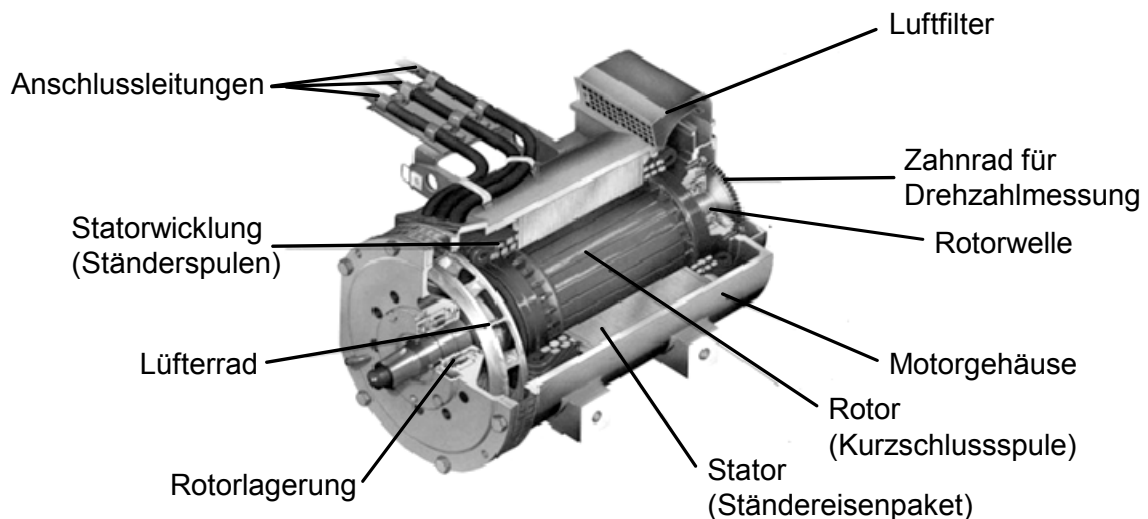


Abb. 4-8: Aufbau einer Asynchronmaschine [WAL11]

#### 4.2.2 Schlüsselkomponente Batterie

Die Batterie stellt ein zentrales Bauteil eines elektrisch angetriebenen Fahrzeugs dar, da diese sowohl die Fahrzeugeigenschaften (insb. Reichweite) als auch die Fahrzeugkosten entscheidend beeinflusst. Abb. 4-9 zeigt den Aufbau eines Batteriesystems. Grundsätzlich besteht eine Batterie aus einzelnen Zellen, die in Reihe oder parallel zu Zellmodulen geschaltet werden. Die einzelnen Zellmodule werden über das Zellmanagement überwacht und geregelt. Das Batteriesystem setzt sich aus mehreren Zellmodulen zusammen, die mit einer entsprechenden Isolierung in einem Batteriegehäuse verbaut werden. Die Überwachung und Regelung der gesamten Batterie erfolgt durch das Batteriemanagementsystem. Zudem verfügt jedes Batteriesystem für den automobilen Einsatz über ein Kühlsystem, da die Betriebstemperatur der Batterie einen großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und die Haltbarkeit einer Batterie hat.

Die wichtigsten Bewertungsparameter einer Batterie im Hinblick auf den Einsatz im Automobil sind Energiedichte, Leistungsdichte, Lebensdauer, Kosten und Sicherheit. Die Energiedichte einer Batterie gibt dabei an, wie viel Energie ein Batterietyp bezogen auf die Masse aufnehmen kann und bestimmt damit indirekt die zu erreichende elektrische Reichweite bei einem vorgegebenen Batteriegewicht. Demgegenüber drückt die Leistungsdichte aus, wie viel Energie in einer bestimmten Zeit von der Batterie abgegeben bzw. aufgenommen werden kann, um eine ausreichende Beschleunigung des Fahrzeugs bzw. eine maximale Rekuperation von Bremsenergie zu ermöglichen. [WAL11]

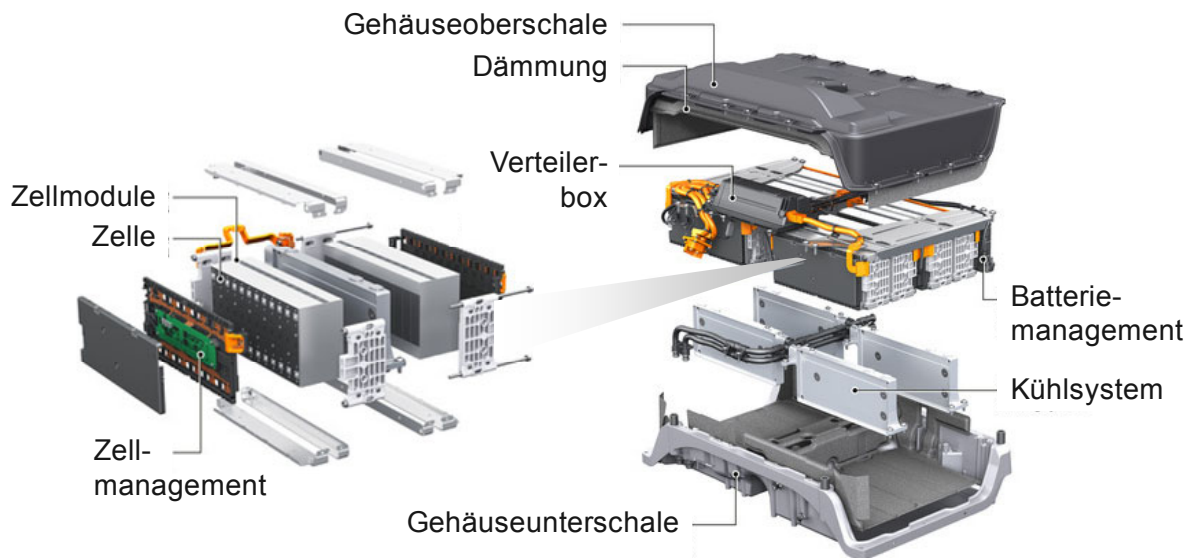


Abb. 4-9: Aufbau eines Lithium-Ionen-Batteriesystems [AUD13]

Die maximale Energie- und Leistungsdichte einer Batterie ist abhängig von der verwendeten Batteriezelltechnologie. Während sich für das 12-Volt-Bordnetz bis heute die einfache und günstige Bleisäurebatterie durchgesetzt hat, wird für elektrifizierte Fahrzeuge die Lithium-Ionen-Technologie bevorzugt. In Abb. 4-10 ist ein Vergleich der gegenwärtig und zukünftig als Traktionsbatterien für Elektrofahrzeuge in Frage kommenden Batterietypen anhand von Energie- und Leistungsdichten dargestellt.

Verglichen mit der Bleisäurebatterie (PbA), die lediglich eine Energiedichte von bis zu 40 Wh/kg erreicht, besitzen Nickel-Metallhydrid-Batterien (NiMH) eine zweifach höhere Energiedichte von 60 bis 90 Wh/kg. Allerdings werden diese Batterietypen gegenwärtig nur noch vereinzelt in Hybrid- oder günstigen Elektrofahrzeugen mit geringerer Reichweite verbaut. Stand der Technik sind heute Lithium-Ionen-Batterien (Li-Ion). Diese weisen eine vergleichsweise hohe Energiedichte von bis zu 200 Wh/kg auf und eignen sich daher für den Einsatz als Traktionsbatterie in elektrischen Fahrzeugen. Lithium-Polymer-Batterien (Li-Polymer) bieten durch die Substitution des flüssigen Elektrolyts durch ein Polymer eine gesteigerte Lebensdauer und Zyklenfestigkeit bei gleichzeitig günstigerem Preis. Allerdings begrenzt derzeit u. a. die Temperaturanfälligkeit bei tiefen Temperaturen deren Einsatz. Neben diesen beiden Lithium-Batterien weisen die noch nicht ausgereiften und zukünftig erst verfügbaren

Batterietypen Lithium-Schwefel (Li-S) und Lithium-Luft (Li-Luft) eine nochmals gesteigerte Energiedichte von bis zu 850 Wh/kg auf, wobei theoretische Energiedichten von mehreren tausend Wh/kg möglich sind. [HOF10, WAL11]

Neben der Steigerung der Energie- und Leistungsdichte steht vor allem auch die Erhöhung der kalendarischen Lebensdauer bei gleichzeitig hoher Zyklenfestigkeit im Fokus der Batterieentwicklung. Die Zyklenlebensdauer ist definiert über die Anzahl der Lade- und Entladevorgänge bis zur Abnahme der Kapazität auf 80 % des Ausgangswertes oder einer Zunahme des Innenwiderstandes um 100 % [KAM13]. Die kalendarische Lebensdauer ist begrenzt durch Alterungsprozesse, die auch auftreten, wenn die Batterie überhaupt nicht belastet wird. Weitere Schwerpunkte der Forschung und Entwicklung im Bereich Batterien sind die Reduktion der Kosten sowie die Erhöhung der Batteriesicherheit. Insgesamt zeigt sich, dass gerade die Lithium-Batterietypen auf Grund ihrer hohen Leistungsdichte und ihrer hohen Energiedichte in Kombination mit dem noch bestehenden Weiterentwicklungspotenzial gegenwärtig die geeignetsten elektrochemischen Speicher für Elektrofahrzeuge darstellen.

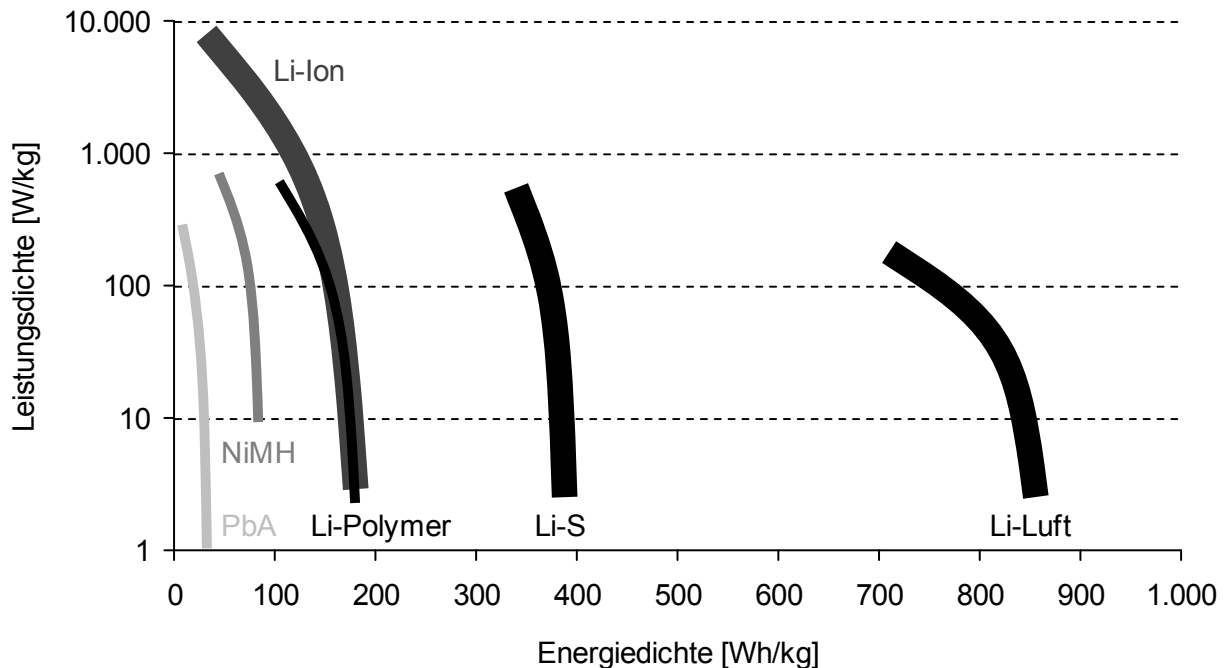


Abb. 4-10: Vergleich der Energie- und Leistungsdichten [NPE11, WAL11]

Es gibt drei unterschiedliche Typen von Lithium-Ionen-Zellen. Rundzellen, wie sie z. B. im Tesla Model S zum Einsatz kommen, weisen eine hohe Lebensdauer auf. Zudem kann heute schon auf umfangreiche Erfahrungen im Zelldesign zurückgegriffen werden. Nachteilig ist die aufwendige Kühlung. Coffe-Bag-Zellen weisen hingegen sehr gute Kühleigenschaften auf. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Energiedichte. Die Dichtigkeit der Folie stellt zurzeit ein zentrales Problem dieses Batterietyps dar. Prismatische Zellen zeichnen sich durch einen einfachen Einbau aus. Des Weiteren vereinen sie die Vorteile von den Rund- und Coffee-Bag-Zelle. Insgesamt weisen alle Zelltypen von Lithium-Ionen-Batterien die gleichen funktionalen Komponenten auf. Neben den Elektroden (Anode und Kathode) sind dies der Elektro-

lyt und ein Separator. Der Separator dient zur Trennung der beiden Elektroden zur Vermeidung eines Kurzschlusses. Der Elektrolyt ermöglicht den Transport der Lithium-Ionen zwischen den Elektroden.

Die Energiedichte einer Lithium-Ionen-Zelle wird wesentlich durch das verwendete Aktivmaterial der Kathode bestimmt, das bei Lithium-Ionen-Zellen häufig aus Mischoxiden besteht, vgl. Abb. 4-11. Dabei kommen als Legierungselemente an der Kathode hauptsächlich Eisen, Mangan, Nickel und Kobalt zum Einsatz. Die Elektrode der Kathode ist meist aus Aluminium. Die Elektrode der Anode besteht aus Kupfer, als Aktivmaterial wird meist Kohlenstoff in Form von Graphit eingesetzt. [KOR13]. Elektrolyte können grundsätzlich in fester Form, als flüssige Lösung aus einem Leitsalz und einer nicht wässrigen Lösung oder in Form eines Polymers eingesetzt werden.

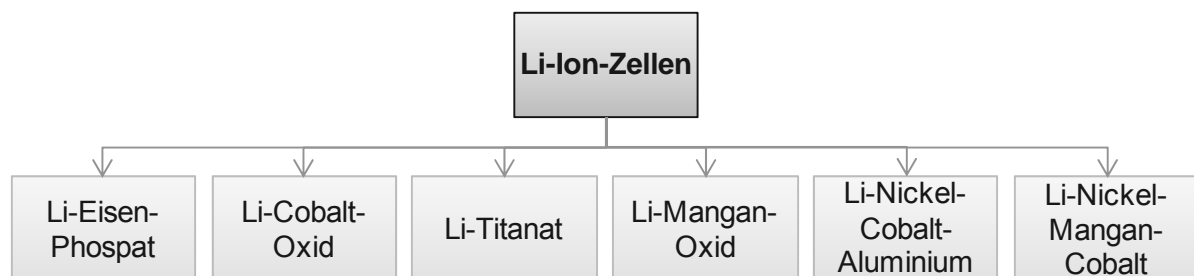


Abb. 4-11: Alternative Zelltechnologien einer Li-Ion-Batterie [KAM13]

### 4.2.3 Schlüsselkomponente Leistungselektronik

Die Aufgabe der Leistungselektronik eines Elektrofahrzeugs besteht in der verlustarmen Umformung und Schaltung von elektrischer Energie und der Steuerung des Leistungsflusses. Bei Elektrofahrzeugen ist eine Umformung der elektrischen Energie in Bezug auf das Spannungsniveau, die Frequenz sowie die Polarität und den Spannungsverlauf erforderlich. Dazu werden verschiedene Stromrichter bzw. Wandler eingesetzt, die sich hinsichtlich ihrer Funktion unterscheiden. Abb. 4-12 stellt die in einem Elektrofahrzeug verbauten Stromrichter als Strukturbild dar.

Der Gleichrichter wandelt einen Wechselstrom (AC, alternating current) in Gleichstrom (DC, direct current) und wird bei Elektrofahrzeugen im Ladegerät verwendet. Dabei wird der Wechselstrom des Stromnetzes in einen Gleichstrom umgewandelt, der so von der Traktionsbatterie gespeichert werden kann. Zum Antrieb des Elektromotors muss der Gleichstrom der Batterie wieder über einen sogenannten Wechselrichter in einen Wechselstrom umgewandelt werden. Aufgrund unterschiedlicher Spannungsniveaus von Elektromotor und Batterie wird in der Regel ein Gleichstromsteller (DC/DC-Wandler) benötigt. Zur Versorgung der Verbraucher des Niedervoltbordnetzes muss der Gleichstrom der Traktionsbatterie auf ein niedrigeres Spannungsniveau gebracht werden. Dazu wird ebenfalls ein Gleichstromsteller oder -spannungswandler eingesetzt, der oft auch mit dem Antriebsinverter zu einem Bauteil zusammengefasst wird.

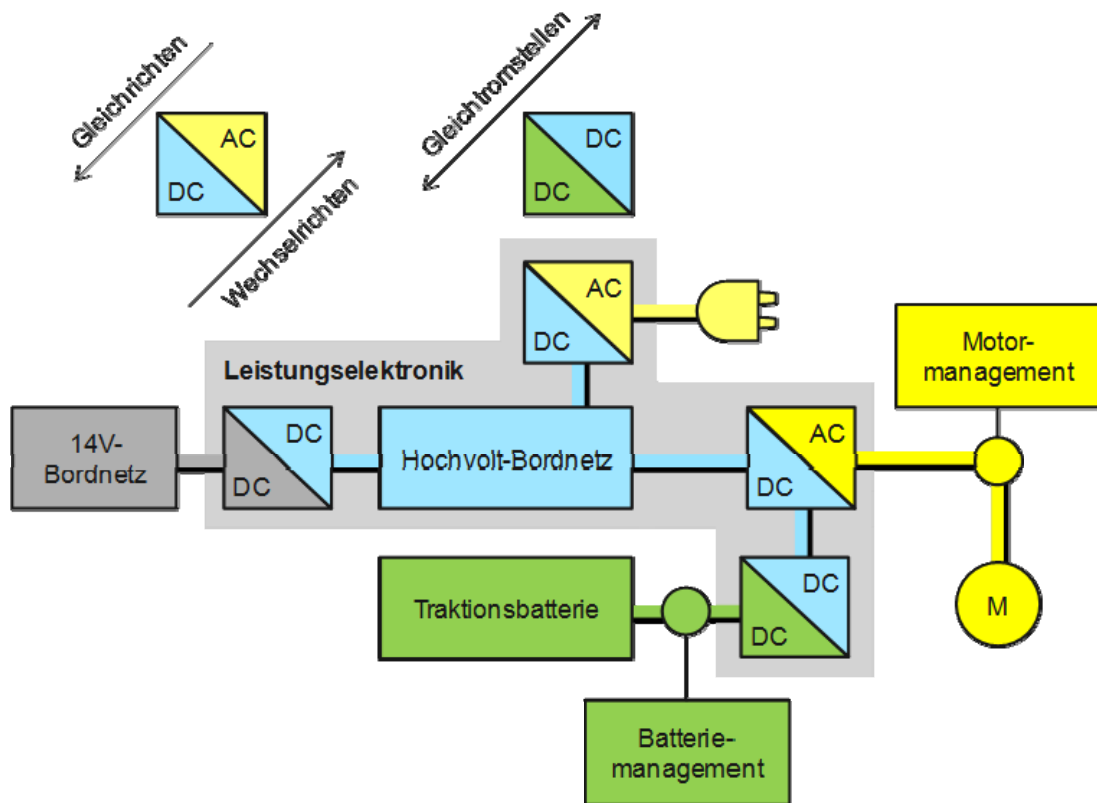


Abb. 4-12: Funktion der Stromrichter in einem Elektrofahrzeug [eigene Darstellung]

Abb. 4-13 zeigt den Aufbau eines Wechselrichters, der bei Elektrofahrzeugen zum Betrieb des Elektromotors benötigt wird. Zu den Bestandteilen der Leistungselektronik gehört neben dem eigentlichen Leistungsmodul, welches die Umformung der elektrischen Energie übernimmt, insbesondere auch die Steuerungseinheit. Diese hat die Funktion, die Leistungselektronik anzusteuern und arbeitet auf einem niedrigeren Spannungsniveau. [KAM14] Die Steuerungselektronik besteht u. a. aus Gate-Treibern und Mikrocontrollern (Halbleiterchips), die die Funktionen eines Mikroprozessors mit den Funktionen zusätzlicher Peripheriegeräte wie Mess-, Regel- und Steuereinheiten kombinieren. Das Leistungsmodul besteht hingegen hauptsächlich aus Hochleistungshalbleiterschaltungen wie IGBT (Bipolartransistoren) und MOSFETs (Feldeffekttransistoren).

Weitere wesentliche Bestandteile der Leistungselektronik sind die Zwischenkreiskondensatoren, die Anschlüsse, das Gehäuse sowie die Kühlung. Die Zwischenkreiskondensatoren dienen dabei als Energiespeicher zur Entkopplung des Ein- bzw. Ausgangsnetzes und tragen zur Glättung der Eingangsspannung bei. Das Gehäuse hat die Funktion, die Komponenten der Leistungselektronik vor Umgebungseinflüssen zu schützen. Da bei den hohen gewandelten Strömen und Spannungen auch Verlustleistung und damit Wärme entsteht, müssen die Komponenten zudem entsprechend aufgebaut und gekühlt werden.

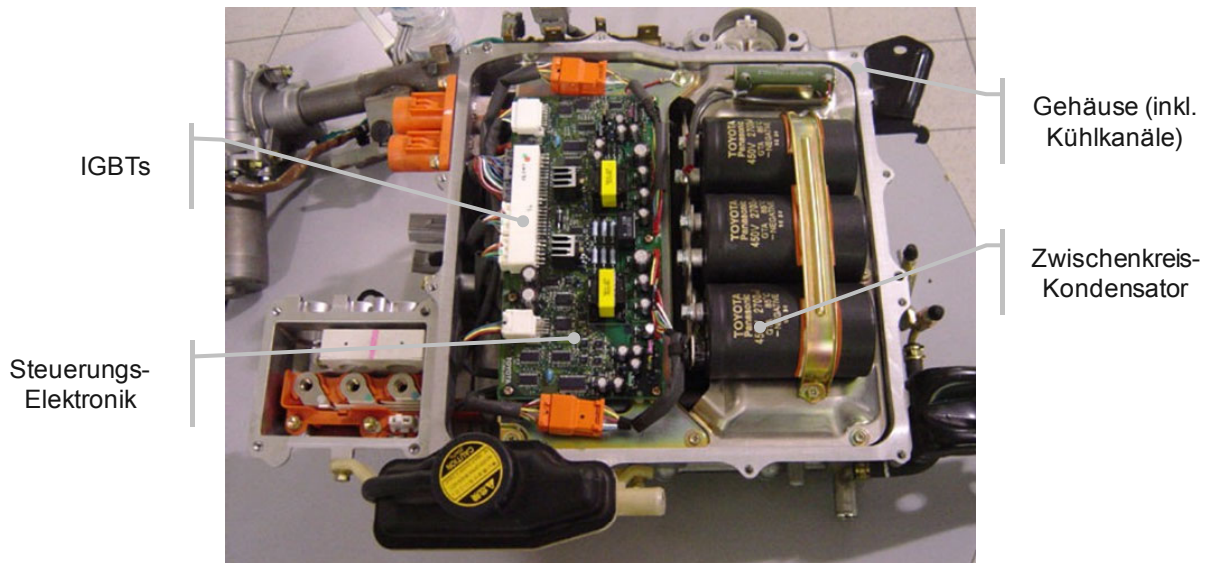


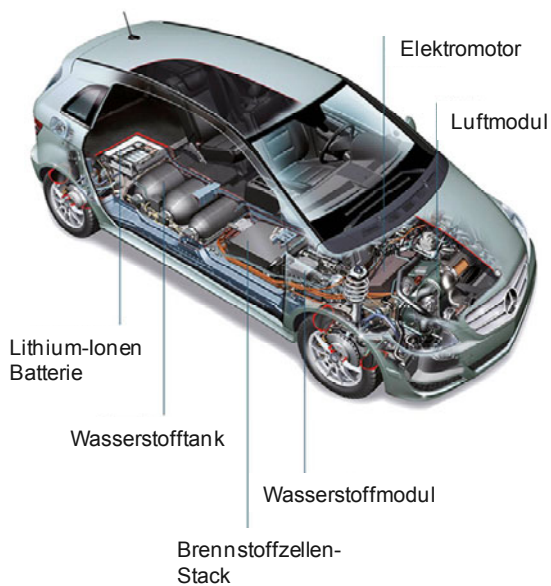
Abb. 4-13: Aufbau des Wechselrichters eines Toyota Prius [EVN14]

Ein aktueller Entwicklungsschwerpunkt im Bereich der Leistungselektronik für elektrische Fahrzeugantriebe besteht in der Erhöhung der Leistungsdichte zur Reduzierung des Bau- raums und des Gewichts. In diesem Zusammenhang wird auch die Integration von Bauteilen wie Leistungselektronik und Elektromotor verfolgt. Aufgrund des begrenzten Bauraums im Fahrzeug sowie der Wechselwirkungen zwischen Gewicht und Reichweite bei batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen hat die Leistungsdichte im Automobilbereich eine deutlich höhere Relevanz als bei industriellen Anwendungen. Zudem sind die Anforderungen hinsichtlich der Temperaturbereiche sowie der Zyklen- und Stoßfestigkeit in der Regel deutlich höher. Einen weiteren Entwicklungsschwerpunkt bildet die Erhöhung der Effizienz der Leistungselektronik, um mit einer gegebenen Batteriekapazität eine möglichst hohe Reichweite zu realisieren. Des Weiteren ist eine möglichst optimale Kühlung der Leistungselektronikkomponenten sowie die Integration in das Kühlsystem des Gesamtfahrzeugs Gegenstand der Entwicklung. [KAM14]

#### 4.2.4 Schlüsselkomponente Brennstoffzellensystem

Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzellen (FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle) generieren die zum Betrieb des Elektromotors notwendige elektrische Energie aus der chemischen Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser innerhalb der Brennstoffzelle. Diese kann den Elektromotor entweder über einen Inverter direkt speisen oder aber die Energie in einer Batterie bzw. einem Hochleistungskondensator speichern. Diese Form eines Brennstoffzellen-Hybridantriebs wird häufiger genutzt, da Leistungsspitzen besser abgedeckt werden können und eine Rekuperation von Bremsenergie möglich ist. Abb. 4-14 zeigt die Komponenten eines Brennstoffzellenfahrzeugs am Beispiel der B-Klasse F-Cell von Daimler. Gegenüber batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen verfügen Brennstoffzellenfahrzeuge zusätzlich über einen Brennstoffzellen-Stack, Peripheriekomponenten wie dem Wasserstoff- und Luftmodul sowie dem Wasserstofftank.





#### Leistungsdaten B-Klasse F-Cell

Leistung E-Motor	100 kW
Kapazität Batterie	1,4 kWh
Tanksystem	3,7 kg / 700 bar
Reichweite	400 km
Höchstgeschwindigkeit	170 km/h
Verbrauch	0,97 kg / 100 km
Diesel-Äquivalent	3,3 l / 100 km

Abb. 4-14: Komponenten eines Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuges [CEP14, GRM14]

Der Brennstoffzellen-Stack ist die Kernkomponente eines FCEV und besteht aus in Reihe geschalteten Brennstoffzellen. Die Reihenschaltung ist notwendig, da pro Brennstoffzelle nur eine geringe Spannung abfällt (ca. 1 V). Insgesamt besteht ein Stack aus ca. 300 bis 450 Zellen, so dass eine Betriebsspannung von ca. 300 bis 450 V vorliegt. Die Brennstoffzelle ist ein elektrochemischer Energiewandler. Die im Wasserstoff gebundene chemische Energie wird direkt in elektrische Energie umgewandelt. Die Brennstoffzelle besteht grundsätzlich aus einer negativen Anode und einer positiven Kathode. Beide sind durch eine semipermeable Membran voneinander getrennt. Die Anode wird mit Wasserstoff versorgt, welcher mittels eines Katalysators oxidiert wird. An der Kathode hingegen wird Sauerstoff reduziert. Während sich Protonen von der Anode zur Kathode bewegen und mit den dort vorliegenden Sauerstoffionen zu Wasser verbinden, fällt zwischen beiden Elektroden eine Spannung ab.

Je nach verwendetem Elektrolyt können unterschiedliche Arten von Brennstoffzellen unterschieden werden. Für den automobilen Einsatz eignet sich die Proton Exchange Membran (PEM) Brennstoffzelle am besten, da sie sich durch ein gutes Startverhalten, hohe Leistungsdichte, variable Leistungsabgabe und einen robusten Aufbau auszeichnet. Die PEM-Brennstoffzelle verfügt über eine dünne Polymerfolie als Festelektrolyt. Die geringe Arbeitstemperatur von 50–80°C wirkt sich einerseits förderlich auf Lebensdauer, Wartungsaufwand und Kaltstartverhalten aus. Andererseits muss Platin als Katalysator eingesetzt werden, um einen stabilen und ausreichend hohen Umsatz der Reaktionspartner zu gewährleisten. Dies führt zu höheren Stückkosten. Das Katalysatormaterial reagiert darüber hinaus empfindlich auf Verunreinigungen durch Kohlenmonoxid, welches die Adsorption von Wasserstoff an der Platinoberfläche blockiert und dadurch Leistungsfähigkeit und Lebensdauer herabsetzt. Zukünftige Entwicklungen werden sich folglich auf die Verbesserung des Katalysatormaterials konzentrieren. [IEA05, BAL09]

Neben dem eigentlichen Brennstoffzellenstack setzen sich Brennstoffzellensysteme aus weiteren Sub-Systemen und Modulen zusammen. Dem Luft- und Wasserstoffmodul kommt dabei die Aufgabe zu, den zum Betrieb der Brennstoffzelle erforderlichen Sauerstoff und Wasserstoff aufzubereiten und der Zelle zuzuführen. Das Thermomanagement stellt sicher, dass der Brennstoffzellenstack im optimalen Betriebstemperaturbereich arbeitet und ist in das thermische Gesamtsystem des Fahrzeugs eingebunden. Die Steuerungselektronik überwacht und steuert den Betrieb der Brennstoffzelle sowie die Verteilung der elektrischen Energie zwischen Brennstoffzellenstack, Batterie und Elektromotor.

Zur Speicherung des Wasserstoffs werden bei FCEVs Wasserstofftanks benötigt. Die wichtigsten Anforderungen an einen Wasserstoffspeicher sind die gravimetrische und volumetrische Speicherdichte sowie die gespeicherte Menge an Wasserstoff und das Tankvolumen. Außerdem relevant sind das Gewicht des Wasserstoffspeichers, Betankungsdauer, Sicherheit, auftretende Wasserstoffverlusten, Lebensdauer und die Kosten des Speichersystems. Grundsätzlich existieren mit dem Druckspeicher und den Kryogenspeicher zwei unterschiedliche Speichertechnologien. Darüber hinaus befindet sich die Speicherung mithilfe von Metallhydriden in der Entwicklung.

Die Druckspeichertechnologie wird z. B. in der Mercedes-Benz B-Klasse F-Cell eingesetzt. Der hohe Druck von 700 bar ist notwendig, um Reichweiten von über 500 km zu erreichen. Die Anforderungen an Dichtheit und Berstsicherheit sind hierbei sehr hoch. Als Barriere-schicht kommt ein hochdichter Kunststoff, z. B. Polyethylen zum Einsatz. Die Druckkräfte werden durch eine Umwicklung aus kohlefaserverstärktem Kunststoff aufgenommen. Kryogenspeicher, die lange Zeit als gleichwertige Alternative zur Druckgasspeicherung zählten, werden von der Mehrheit der Fahrzeughersteller mittlerweile nicht mehr weiterentwickelt. Dies ist vor allem auf die bei dieser Speichertechnologie auftretenden Abdampfverluste zurückzuführen, die beim Pkw-Einsatz in der Größenordnung von ca. 2–3 % pro Tag liegen können. Die chemische Speicherung in Metallhydriden zeichnet sich ggü. den beiden zuvor aufgeführten Speichertechnologien durch eine höhere volumetrische Speicherdichte bei unkritischen Temperaturen und Drücken aus und ist dadurch sehr sicher. Bei der Beladung wird jedoch sehr viel Energie frei (bei 5 kg Wasserstoff 100 MJ), welche über Wärmetauschersysteme aus dem Fahrzeug abgeführt werden muss. [ATZ12, ECK10]

#### **4.2.5 Referenzstruktur eines batteriebetriebenen Elektrofahrzeuges**

Auf der Grundlage der Produktstrukturanalyse wurde in einem nächsten Schritt eine Referenzstruktur für ein batteriebetriebenes Elektrofahrzeug erarbeitet, die in einer Excel-Tabelle dokumentiert ist, vgl. Abb. 4-15. Die Referenzstruktur besteht aus drei Detaillierungsstufen (Gesamtsystem, Subsystem/Modul, Komponente), die nach Bedarf ein- bzw. ausgeblendet werden können. Auf Komponentenebene wird zudem angegeben, ob das jeweilige Bauteil nur in einem Elektrofahrzeug verbaut wird (Neuteil), ob es sich im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug um eine Anpassung des Bauteils handelt (verändertes Bauteil) oder ob das Bauteil identisch mit dem entsprechenden Bauteil eines konventionellen Fahrzeugs ist (Gleichteil).





eVchain.NRW (Electric Vehicle Value Chain in NRW)				
Referenzstruktur eines Fahrzeuges mit elektrischem Antriebsstrang (Mitsubishi i-MiEV)				
	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Veränderungsgrad	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer
	<b>Gesamtsystem</b>			
	Räder			
	Radaufhängung (Mc Pherson vorne, De-Dion hinten)			
	Stoßdämpfer/Federung			
	Lenkung			
	Tragende Elemente			
	<b>Bremssystem (Scheibe vorne, Trommel hinten)</b>			
	Bremssattel	Übernahmeteil		
	Bremskraftverstärker	Übernahmeteil		
	Brembeläge	Übernahmeteil		
	Bremsschläuche	Übernahmeteil		
	Bremleitungen	Übernahmeteil		
	Bremsscheibe (vorne)	Übernahmeteil		
	Bremsschalen (hinten)	Übernahmeteil		
	Ankerplatte (hinten)	Übernahmeteil		
	Bremstrommel (hinten)	Übernahmeteil		
	Radbremsszylinder (hinten) (Mechanische) Handbremse	Übernahmeteil		
Unterdruckpumpe	Übernahmeteil			
ABS/ESP-Steuereinheit	Verändertes Bauteil			
	<b>Gesamtsystem</b>			
	Grundmotor	Neuteil		
	Gehäuse Elektromotor (inkl. Stator)	Neuteil		
	Rotor Elektromotor	Neuteil		
	Motorlager	Neuteil		
	Motor Kühlung			
	Wasserpumpe	Verändertes Bauteil		
	Lufter			

Abb. 4-15: Referenzstruktur eines Fahrzeuges mit elektrischem Antriebsstrang

Bei der Erstellung der Referenzstruktur wurden zwei grundlegend verschiedene Entwicklungsstufen von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen berücksichtigt und in separaten Tabellen dokumentiert. Diese beiden Entwicklungsstufen grenzen sich voneinander insbesondere durch ihren technologischen Neuheitsgrad ab und repräsentieren das Spektrum an Fahrzeugtechnologien für zukünftige Elektrofahrzeuge, vgl. Abb. 4-16.

Die erste Entwicklungsstufe stellt die „konventionelle Fahrzeugarchitektur“ dar. Ein Großteil der aktuell am Markt angebotenen Elektrofahrzeuge kann dieser Kategorie zugeordnet werden. Dabei wird die grundlegende Fahrzeugarchitektur (z. B. die Karosseriestruktur) im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug nur geringfügig verändert. Es werden etablierte Systeme wie Brems-, Lenk- und Klimasystem mit nur leichten technologischen Anpassungen verwendet. Daraus resultierend ist die Produktionsstruktur größtenteils identisch mit der von konventionellen Fahrzeugen.

Eine wesentlich radikalere Veränderung im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen stellt die zweite Entwicklungsstufe, die „optimierte BEV-Fahrzeugarchitektur“ dar. Dabei wird die gesamte Fahrzeugarchitektur neugestaltet und hinsichtlich des elektrischen Antriebs optimiert, was sich z. B. in neuen Karosserie- und Packagekonzepten ausdrückt. Gleichzeitig werden Systeme mit einem hohen technologischen Neuheitsgrad in das Fahrzeug integriert. Beispiele hierfür sind Brake-by-Wire- und Steer-by-Wire-Systeme sowie der Einsatz von Radnabenmotoren und die Umstellung auf ein ganzheitliches Thermomanagement. Aufgrund der stark veränderten Fahrzeugstruktur ist eine grundlegende Anpassung der Produktionsstruktur erforderlich. Insgesamt entstehen bei dieser Entwicklungsstufe ein hoher Entwicklungsaufwand sowie hohe Investitionskosten.



Abb. 4-16: Entwicklungsstufen von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen

### 4.3 Produktionsstrukturen für Elektrofahrzeuge

In einem nächsten Projektschritt wurde die Produktionsstruktur für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge mit der Zielsetzung zur Abbildung einer zukünftigen Serienproduktion analysiert. Dabei können zwei grundlegend verschiedene Produktionsstrategien unterschieden werden. Bei dem sogenannten Brown-Field-Ansatz wird eine gemischte Fertigung von verbrennungsmotorisierten Fahrzeugen und Elektrofahrzeugen verfolgt, die als Mix-Fertigung in eine bestehende Produktionslinie integriert wird. Im Gegensatz dazu wird bei dem Green Field Ansatz der Aufbau einer eigenständigen Elektrofahrzeugfertigung verfolgt. Für beide Produktionsstrategien existieren verschiedene Realisierungsformen, die im Rahmen des Projektes analysiert wurden. So kann der Brown-Field-Ansatz sowohl durch eine vollständige Integration der Fertigungsprozesse des Elektrofahrzeugs in die Produktion eines konventionellen Fahrzeugs als auch durch eine Austaktung einzelner Prozessschritte realisiert werden. Beim Green-Field-Ansatz wurden die drei Prozessformen ICE-Strategie, Modulintegrator-Strategie und EV-Plattform-Strategie näher betrachtet, die sich vor allem hinsichtlich des Produktionsumfangs durch den Fahrzeughersteller unterscheiden. In den folgenden Unterkapiteln werden die verschiedenen Produktionsstrukturen für Elektrofahrzeuge vorgestellt.

#### 4.3.1 Brown-Field-Ansatz

Beim Brown-Field-Ansatz wird eine Mix-Fertigung von Elektrofahrzeugen und konventionellen Fahrzeugen in bestehende Produktionslinien integriert. Hier wird in einem ersten Schritt

die Variante der vollständigen Integration der Fertigungsprozesse des Elektrofahrzeugs in die Produktion eines verbrennungsmotorisierten Fahrzeugs betrachtet. Anschließend wird als zweite Variante die Möglichkeit der Austaktung einzelner Prozessschritte der Elektrofahrzeugherstellung vorgestellt. Dabei ist anzumerken, dass die neuen Fertigungsstrukturen im Brown-Field-Ansatz vergleichsweise stark vom Basisfahrzeug abhängen. Eine dem verbrennungsmotorisierten Fahrzeug ähnliche Architektur des Elektrofahrzeugs ist hier Ausgangspunkt für die Möglichkeit der Integration in bestehende Strukturen. Aus diesem Grund werden bei der Betrachtung des Brown-Field-Ansatzes keine hochinnovativen Konzepte wie Radnabenmotoren berücksichtigt.

#### 4.3.1.1 Vollständige Integration der BEV-Produktion

Bei der vollständigen Integration der Elektrofahrzeugfertigung in die Produktion von konventionellen Fahrzeugen werden die Modifikationen an der aktuellen Fertigung vergleichsweise gering gehalten und die neuen Arbeitsumfänge in bestehende Takte integriert. Aufgrund der unternehmensspezifischen Auslegung und Anordnung der Takte, wird in diesem Kapitel eine beispielhafte Integration vorgestellt, welche einer Anpassung für den Einzelfall bedarf.

Durch die gemeinsame Produktion von Elektrofahrzeugen und klassischen Fahrzeugen auf einer Linie sind viele Bereiche von Veränderungen betroffen. Besonders ausgeprägt sind die Abweichungen in den Bereichen Endmontage und Triebsatzfertigung. Hier gilt es, entfallende Prozesse zu substituieren, Takte anzupassen und zusätzliche Prozesse in die bestehende Struktur einzufügen. Eine Herausforderung stellt hier besonders der Mehraufwand für die neu hinzukommenden Komponenten dar. Im Gegensatz zu den stark betroffenen Bereichen der Endmontage und der Triebsatzfertigung sind die Auswirkungen auf die Prozesse des Presswerks, des Rohbaus, der Lackiererei und der Türenlinie vergleichsweise gering. Lediglich im Presswerk und beim Rohbau muss mit modifizierten Bauteilen umgegangen werden, wobei diese keinen ausgeprägten Einfluss auf die Produktionsprozesse haben. Aufgrund der Produktion in Chargen und den flexiblen Produktionsstrukturen in diesen Bereichen stellt die Produktion neuer Karosserieteile eine vergleichsweise geringe Herausforderung dar.

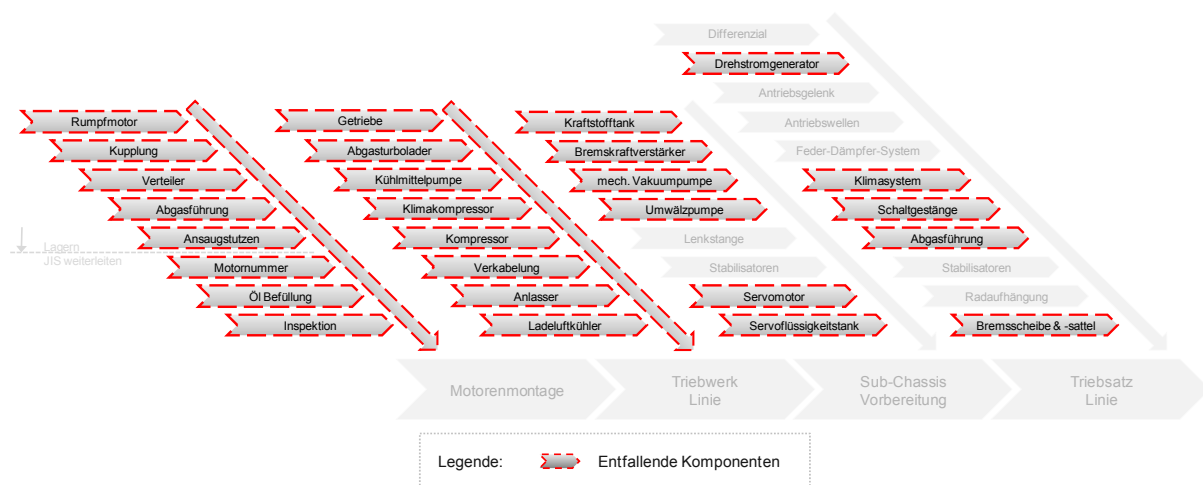


Abb. 4-17: Entfallende Prozessschritte im Bereich der Triebsatzfertigung

Im Bereich der Triebatzfertigung entfallen durch die Substitution des Verbrennungsmotors alle Tätigkeiten, die im Zusammenhang mit der Motormontage, den Nebenaggregaten, der Abgasführung oder der Kraftstoffversorgung stehen, vgl. Abb. 4-17. Außerdem sind Anpassungen der Tätigkeiten im Bereich des Brems- und Lenksystems notwendig. Lediglich die Montageprozesse der Komponenten der Radaufhängung und die der Antriebswellen, des Differenzials und der Antriebsgelenke bleiben unverändert erhalten.

Neben den Einschnitten in der Triebatzfertigung entfallen in der Endmontage die Prozesse des Befüllens mit Kraftstoff und Kühlflüssigkeit sowie das Aufheizen des Motors im Bereich der Endabnahme. Begründen lassen sich die vergleichsweise geringen Auswirkungen in diesen Bereichen dadurch, dass die Art des Antriebs einen nur geringen Einfluss auf die hier verbauten Komponenten hat.

Die größte Herausforderung stellt die Substitution der entfallenden Prozesse und Komponenten mit den neu hinzukommenden dar. Ziel der Substitution ist es, für alle auf einer Linie produzierten Fahrzeuge die gleichen Durchlauf- und Taktzeiten zu erzielen, um die Verschwendung durch Lagerhaltung, Liegezeiten und Kapazitätsverlust zu minimieren. Dabei entsteht durch die entfallenden Prozesse im Bereich der Triebatzfertigung das größte Potenzial zur Implementierung neuer Arbeitsschritte. Der Umfang der hinzukommenden Prozesse hängt hier erheblich von der Fremdbezugsstrategie des Automobilherstellers ab. Bei der hier vorgestellten Struktur wird die Elektromotorfertigung von dem OEM übernommen. Dabei ist die Integration dieser Tätigkeiten in die Motormontage als kritisch zu betrachten. Zwar ist eine gemischte Fertigung über neue Förder- und Handlinggeräte denkbar, jedoch als unwirtschaftlich zu erachten. Ursächlich hierfür sind die grundverschiedenen Tätigkeiten, sowie die weniger zeitintensive Montage des weniger komplexen Elektromotors. Aus diesem Grund werden hier die Elektromotoren als Modul in einer eigenen E-Maschinenmontage hergestellt und mit dem einstufigen Getriebe verbunden. Diese separate Fertigung des Elektromotors als Modul deckt sich auch mit aktuellen Ansätzen der Automobilhersteller. So verfolgt die Volkswagen AG eine eigenständige Elektromotorenfertigung im Komponentenwerk Kassel. Die Daimler AG und Bosch haben im Jahr 2011 ein Joint Venture zur gemeinsamen Fertigung dieses Moduls gegründet.

Nach der Vormontage des Elektromotors und des einstufigen Getriebes wird der Triebatz des Elektrofahrzeuges gemeinsam mit dem der verbrennungsmotorisierten Fahrzeuge aufgebaut, vgl. Abb. 4-18. Dabei können die elektromechanische Lenkung sowie die elektrische Unterdruckpumpe als Variante der ursprünglichen Komponenten ohne weitere Anpassungen oder Zeitspreitzungen verbaut werden. Zudem ist es möglich, die Halter für die Hochvoltkomponenten, die elektrische Kühlmittelpumpe für die Batterietemperierung und die Kühlmittelleitungen in den Takten zu montieren, in denen ursprünglich der Kraftstofftank, die Umwälzpumpe und Teile der hydraulischen Lenkkraftunterstützung montiert wurden. Anschließend werden in der Triebatzlinie die elektrohydraulische Bremse, der Hochvoltklimakompressor, die Leistungselektronik sowie die Hochvoltkabel integriert. Dabei stellen die Hochvoltkabel eine besondere Herausforderung dar, da sich die Verlegung dieser verhältnismäßig langen und steifen Kabel als zeitintensive Aufgabe herausstellt. Daher müssen für die Montage

dieser Komponenten mehrere Takte zur Verfügung stehen. Durch den Entfall der Abgasführung und der Hydraulikschläuche zu den Hinterrädern werden Takte frei, in denen sich die Möglichkeit zur taktübergreifenden Montage des HV-Kabels bietet.

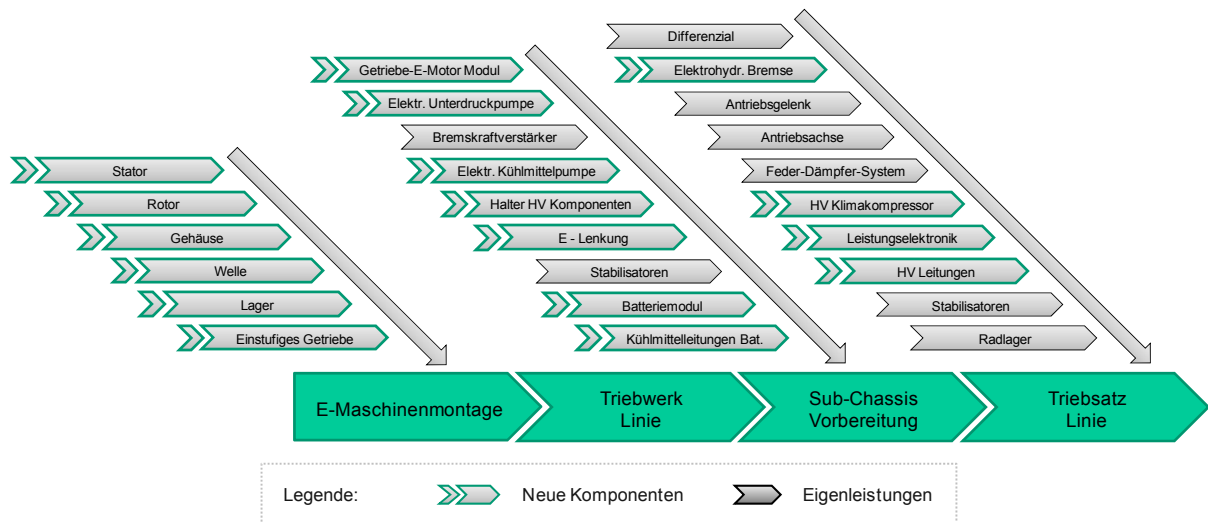


Abb. 4-18: BEV-Fertigungsstruktur im Bereich der Triebsetzung

Neben den Veränderungen in der Triebsetzungsmontage müssen auch in der Endmontage neue Tätigkeiten integriert werden. Dabei handelt es sich um den Einbau der elektrischen Heizung, die Montage der Abluftkanäle des Batteriemoduls sowie die Verbindung der Hochvoltkomponenten, vgl. Abb. 4-19. Obwohl die neuen Umfänge nicht so zahlreich wie in der Triebsetzungsmontage sind, erweist sich die Integration als schwierig. Zum einen müssen diese Tätigkeiten vergleichsweise früh in der Endmontage erfolgen und können somit nicht im entfallenden Takt des Befüllens stattfinden. Zum anderen stellt das Verbinden der Hochvoltkomponenten aufgrund des komplizierten Steckmechanismus eine zeitaufwendige Tätigkeit dar. Um diese Herausforderungen zu überwinden gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Gestaltung der Endmontage. Als einfachste, jedoch in der Regel nicht umsetzbare Variante, ist die Verteilung dieser Tätigkeiten auf viele bestehende Takte denkbar. Dabei erfolgt die Montage in kleinen Schritten, wobei mehrere Mitarbeiter Teilleistungen an einer Komponente erfüllen. Problematisch ist hier, dass im jeweiligen Takt in der Regel nicht ausreichend Zeit zur Umsetzung der zusätzlichen Tätigkeiten zur Verfügung steht. Sofern die Takte der Endmontage nicht genügend Spielraum für die Montage der neuen Komponenten bieten, existiert zum einen die Möglichkeit der Bereitstellung zusätzlicher Mitarbeiter und zum anderen die der Schaffung eines zusätzlichen Taktes. Beide Varianten implizieren einen erhöhten Kostenaufwand, wobei ein weiterer Takt eine zusätzliche Verlängerung der Durchlaufzeit aller Fahrzeuge bedeutet. Daher ist, bei ausreichendem Platzangebot für zusätzliche Handlinggeräte, die Variante mit der Bereitstellung eines zusätzlichen Mitarbeiters zu bevorzugen.

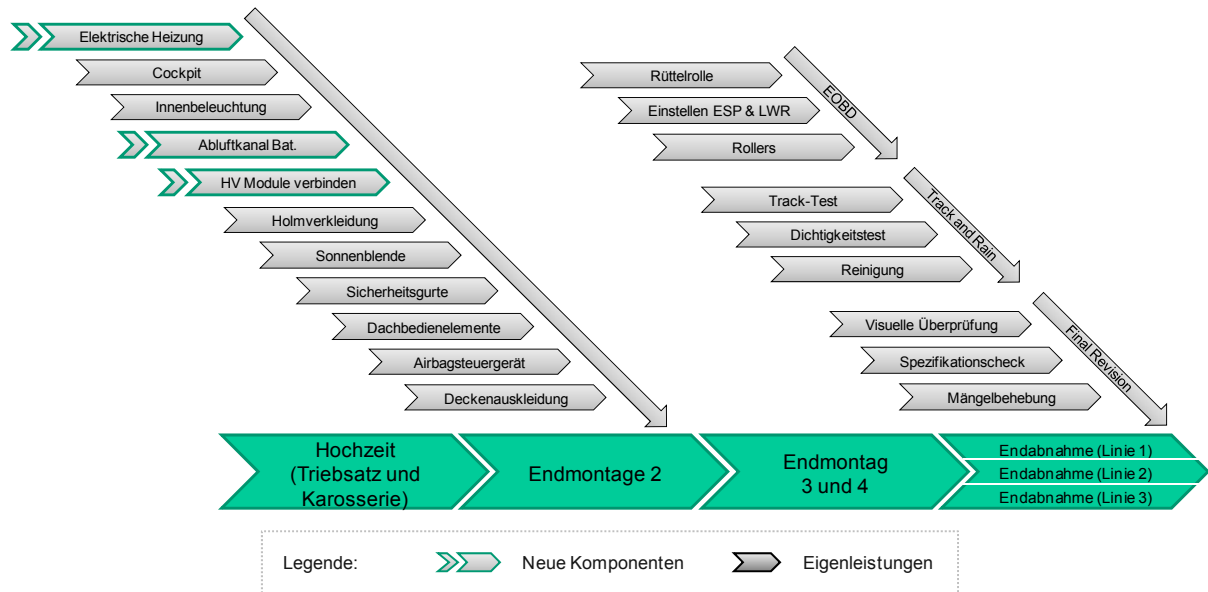


Abb. 4-19: BEV-Fertigungsstruktur im Bereich der Endmontage

Generell muss für die Umsetzung der gemischten Fahrzeugfertigung eine flexible Linie vorliegen, in der die Nutzung neuer Handlinggeräte sowie angepasster Aufnahmetische möglich ist. Im Allgemeinen liegen solche Strukturen in der Automobilfertigung bereits vor, da die OEM zur Kapazitätsausnutzung bei Nachfrageschwankungen in der Regel mehrere Modelle auf einer flexiblen Linie fertigen.

Neben der Linienstruktur müssen auch die Prüfumfänge erhöht werden, was eine Anpassung der Diagnosegeräte erfordert, jedoch keine große Herausforderung für den Automobilhersteller bedeutet. Kritisch zu beurteilen ist hingegen die Sicherstellung der Spannungsfreiheit aller Hochvoltkomponenten während der Montage. Dabei muss die Batterie bis zur Inbetriebnahme des Fahrzeuges durch einen Sicherheitsschalter vom Hochvoltstromkreis getrennt werden. Des Weiteren müssen die Hochvoltkomponenten über die Fähigkeit zur Eigendiagnose Fehler und Kurzschlüsse erkennen und gegebenenfalls eigenständig die Spannungsfreiheit herstellen.

Die hier vorgestellte Variante der vollständigen Integration der Elektrofahrzeugfertigung ist auf Grund der wenigen baulichen Anpassungen mit einem vergleichsweise geringen Investitionsvolumen verbunden. Dies bietet, neben einer beschleunigten Markteinführung, die Möglichkeit zur sukzessiven Steigerung der Elektrofahrzeugproduktion mit vergleichsweise geringem Investitionsrisiko. Dabei erfolgt dies auf Kosten der Kapazität und Durchlaufzeit, da in einigen Takten entweder das verbrennungsmotorisierte Fahrzeug oder das Elektrofahrzeug die Station ohne eine optimale Ausnutzung der Taktzeit passiert. Zusätzlich entstehen unerwünschte Mehrkosten durch den Einsatz weiterer Mitarbeiter in der Endmontage. Zu empfehlen ist dieser Ansatz vornehmlich für bestehende große Automobilhersteller, die eine Elektrofahrzeugfertigung mit vergleichsweise geringen Stückzahlen planen. Dabei ist bei

deutlich steigendem Absatz die Wirtschaftlichkeit der vollständigen Integration, auf Grund der Defizite bei der Durchlaufzeit und den Kosten für zusätzliche Mitarbeiter, zu prüfen.

#### 4.3.1.2 Integration mit ausgetakteten Prozessen

Neben einer vollständigen Integration existiert beim Brown-Field-Ansatz zudem die Möglichkeit, lediglich einzelne Prozesse zu integrieren und verschiedene Bereiche der Elektrofahrzeugfertigung auszutakten. Durch diesen Ansatz lassen sich die Beeinträchtigungen für die Produktion der verbrennungsmotorisierten Fahrzeuge reduzieren und elektrofahrzeugspezifische Takte hinzufügen.

Aufgrund der vielen Veränderungen bei der Triebsatzfertigung ist dieser Bereich ein Ansatzpunkt für den Aufbau eines eigenständigen Bandabschnittes. Dazu wird parallel zur Triebsatzfertigung der verbrennungsmotorisierten Fahrzeuge eine weitere elektrofahrzeugspezifische Linie aufgebaut. Abb. 4-20 stellt eine mögliche eigenständige Triebsatzfertigung für Elektrofahrzeuge dar. Da bei diesem Ansatz auch der Bereich der Endmontage 1 ausgetaktet wird, müssen in der E-Triebssatz Fertigung weniger elektrofahrzeugspezifische Module verbaut werden als bei der vollständigen Integration der BEV-Fertigung. Durch diese verbesserte Aufteilung der Takte wird die Komplexität der Montagetätigkeiten reduziert, wodurch sich weitere Freiheitsgrade bei der Gestaltung des Elektrofahrzeuges bieten.

In der hier betrachteten Produktion werden auf der E-Triebssatzlinie, nach der Vormontage von Elektromotor und Getriebe, die Halter für die Hochvoltkomponenten angebracht. Anschließend werden die elektrische Kühlmittelpumpe, die Unterdruckpumpe, das elektromechanische Lenksystem sowie die elektrohydraulische Bremse montiert. Zusätzlich werden die unveränderten Komponenten des Fahrwerks installiert. Da mit einer schwankenden Nachfrage zu rechnen ist und eine flexible Verschiebung zwischen dem Anteil der Elektrofahrzeuge an der Gesamtproduktion möglich sein sollte, wird am Ende der E-Triebssatzfertigung ein Puffer eingerichtet.

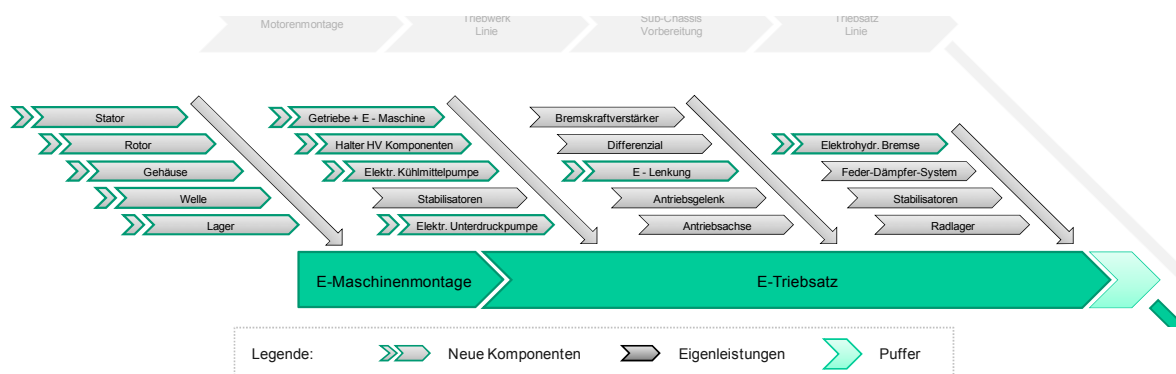


Abb. 4-20: Ausgetaktete BEV-Triebssatzfertigung

Neben der Triebsatzfertigung wird auch eine Endmontage speziell für Elektrofahrzeuge aufgebaut. Diese umfasst neben den Tätigkeiten aus der klassischen Endmontage auch alle verbleibenden elektrofahrzeugspezifischen Tätigkeiten. Unter anderem wird in diesem Be-







### 4.3.2 Green-Field-Ansatz

In diesem Unterkapitel wird innerhalb des Green-Field-Ansatzes der Aufbau einer eigenständigen Elektrofahrzeugfertigung behandelt. Dabei werden anhand drei verschiedener Szenarien die möglichen Produktionsstrukturen einer Großserienfertigung von Elektrofahrzeugen erörtert. Diese besitzen durch den Verzicht auf die Integration verbrennungsmotorisierter Fahrzeuge und die Berücksichtigung innovativer Fahrzeugkonzepte deutlich mehr Freiheitsgrade als die Varianten des Brown-Field-Ansatzes. Die Grundannahme für diesen Ansatz einer eigenständigen Elektrofahrzeugfertigung in Großserie ist ein hohes Absatzpotenzial von Elektrofahrzeugen.

#### 4.3.2.1 ICE-Strategie

In dem nachfolgendem Unterkapitel wird das Szenario der ICE-Strategie vorgestellt. ICE steht in diesem Zusammenhang für „internal combustion engine“ und bezeichnet somit eine Fertigungsstruktur, welche der von verbrennungsmotorisierten Fahrzeugen vergleichsweise stark ähnelt. Abb. 4-22 zeigt die Anordnung der einzelnen Fertigungsbereiche dieses Szenarios.

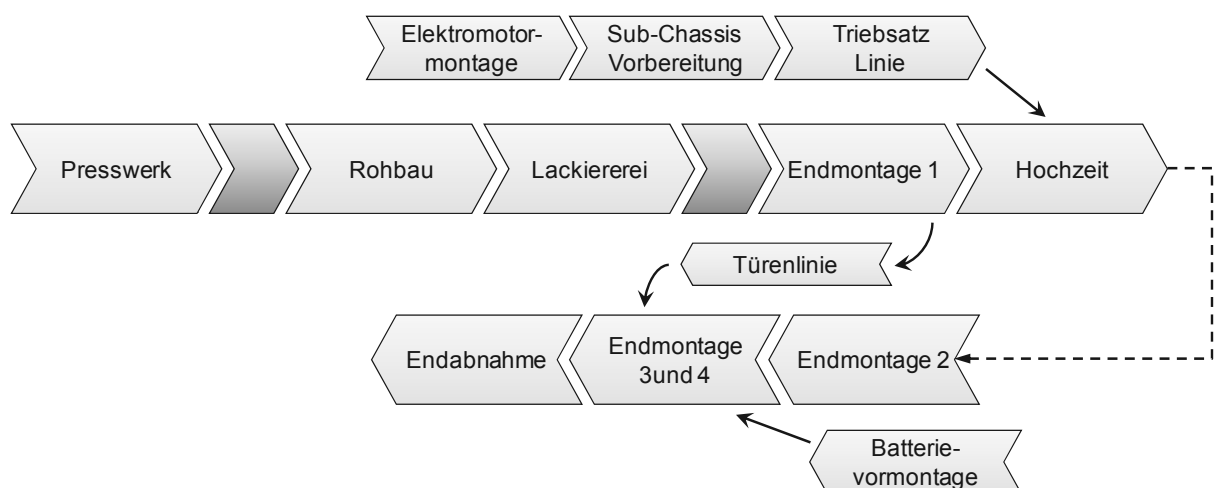


Abb. 4-22: Produktionsstruktur ICE-Strategie

Aufgrund der Analogien zu der klassischen Fahrzeugfertigung besitzt dieses Modell ähnliche Eigenschaften wie die Fertigungsstruktur von verbrennungsmotorisierten Fahrzeugen. Dabei bietet die Produktion von Elektrofahrzeugen in einer eigens zu diesem Zweck konzipierten Fabrik den Vorteil einer optimierten Anordnung der einzelnen Prozesse. Tätigkeiten, welche bei den integrierten Produktionsstrukturen aufgrund der entfallenden Komponenten und der festen Montagefolge im Bereich der Triebsatzfertigung untergebracht werden mussten, können bei diesem Ansatz frei platziert werden. Zudem sind bei einer eigenständigen Elektrofahrzeugfertigung auch neue Fahrzeugstrukturen, z. B. mit mehreren radnahen Elektromotoren, möglich.

Im Allgemeinen besteht die Produktionsstruktur bei der ICE-Strategie aus den klassischen Bereichen Presswerk, Rohbau, Lackiererei, Endmontage und Endabnahme. Zudem gibt es analog zur Fertigung eines verbrennungsmotorisierten Fahrzeugs die parallele und zur Endmontage synchron getaktete Triebsatzfertigung. In diesem Bereich werden das Fahrwerk, verschiedene Strukturteile des Chassis, die Elektromotoren sowie Teile des Antriebsstanges montiert. Dabei ist im Gegensatz zur klassischen Fahrzeugfertigung eine Komplexitätsverschiebung festzustellen. Der hochkomplexe Verbrennungsmotor wird hier durch den vergleichsweise einfach aufgebauten Elektromotor ersetzt, wohingegen der simple Kraftstofftank durch ein hochkomplexes Batteriesystem ersetzt wird. Resultierend wird ein neuer Vormontagebereich zur Erstellung von Batteriemodulen eingeführt.

Von Nachteil sind bei diesem Konzept unter anderem die hohen Investitionskosten und die damit verbundene Kapitalbindung für den Aufbau dieser Fertigungsstrukturen. Dies erschwert es neuen oder vergleichsweise kleinen Automobilherstellern eine eigenständige Elektrofahrzeugfertigung aufzubauen. Zudem ist eine vergleichsweise große Stückzahl die Grundvoraussetzung für die Wettbewerbsfähigkeit, um die Fixkosten auf eine möglichst große Anzahl an Fahrzeugen verteilen zu können. Auch die benötigte Kompetenzbreite für den Aufbau einer dem verbrennungsmotorisierten Fahrzeug ähnelnden Fertigung stellt ein Hindernis für neue Elektrofahrzeughersteller dar, da diese in der Regel über ein fokussiertes Kompetenzfeld verfügen.

Im Gegensatz dazu resultieren die Vorteile des Aufbaus einer Elektrofahrzeugfertigung nach der ICE-Strategie besonders aus dem Wissenstransfer aus der klassischen Fahrzeugfertigung. Durch diesen können bestehende OEM-Kompetenzen aus den Sektoren der Fabrikplanung, des Logistikmanagements und dem Anlaufmanagement auf die neue Produktionsstruktur übertragen. Außerdem bietet diese Variante die Möglichkeit der gezielten Ausprägung der Wertschöpfungsstruktur in einzelnen Bereichen. Durch diese Option des selektiven Ausbaus von Kompetenzen lassen sich die vom Kunden wahrnehmbaren Differenzierungspotenziale ausschöpfen. Grundsätzlich ist allerdings durch die neuen elektrofahrzeugspezifischen Komponenten eine Verschiebung der Wertschöpfungsverteilung zu den Zulieferern zu erwarten.

#### **4.3.2.2 Modulintegrator-Strategie**

Ein weiteres Szenario für eine eigenständige Elektrofahrzeugfertigung ist die Modulintegrator-Strategie. Bei diesem Konzept fokussiert der Fahrzeughersteller seine Entwicklungs- und Produktionsaktivitäten verstärkt auf die Karosserie sowie deren Ausstattung. Dabei erfolgt die Wettbewerbsdifferenzierung vornehmlich durch das Design, die Funktionalität sowie das Raumkonzept. Bei den Kompetenzfeldern, die den Antrieb, die Batterie und das Fahrwerk betreffen selektiert der Modulintegrator vergleichsweise stark. Hinsichtlich des Grads der Modularisierung existieren bei dieser Strategie fließende Übergänge. Hier sind sowohl Integrationspezialisten, welche eine sehr geringe Wertschöpfungstiefe haben und fast ausschließlich vormontierte Module kombinieren, als auch Selektionsspezialisten, welche in einigen

Bereichen große Kompetenzen aufweisen aber dennoch einen vergleichsweise hohen Anteil an Modulen fremdbeziehen, möglich.

Die einzelnen Fertigungsbereiche sind zum besseren Verständnis in Abb. 4-23 durch eine vereinfachte Darstellung illustriert. Dabei findet sich auch bei dieser Struktur die klassische Anordnung von Presswerk, Rohbau und Lackiererei. Im Anschluss treten jedoch im Bereich der Endmontage deutliche Veränderungen auf. Durch die intensiviertere Modularisierung und den Entfall großer Teile der Antriebsstrangproduktion wird auf eine eigenständige Triebstrangfertigung verzichtet. Stattdessen wird die Montage des Elektromotor-, Batterie- und Corner-Moduls direkt in der Endmontage durchgeführt. Dabei stellt ein Corner-Modul eine vormontierte Einheit dar, welche alle Funktionen der klassischen Radaufhängung vereint und im Gegensatz zum komplexen, schrittweisen Aufbau in der heutigen Fahrzeugfertigung vergleichsweise einfach zu montieren ist. [LOC08] Die Montage der elektrofahrzeugspezifischen Module kann somit direkt in die Endmontage integriert werden und bedarf keiner zusätzlichen Triebstranglinie und Hochzeit. Neben den in Abb. 4-23 dargestellten Modulen besteht die Möglichkeit, weitere Bereiche des Fahrzeugs zu modularisieren. Dabei findet durch die Erhöhung des Fremdbezuges eine Verschiebung des Wertschöpfungsanteils vom Automobilhersteller hin zu Zulieferern statt.

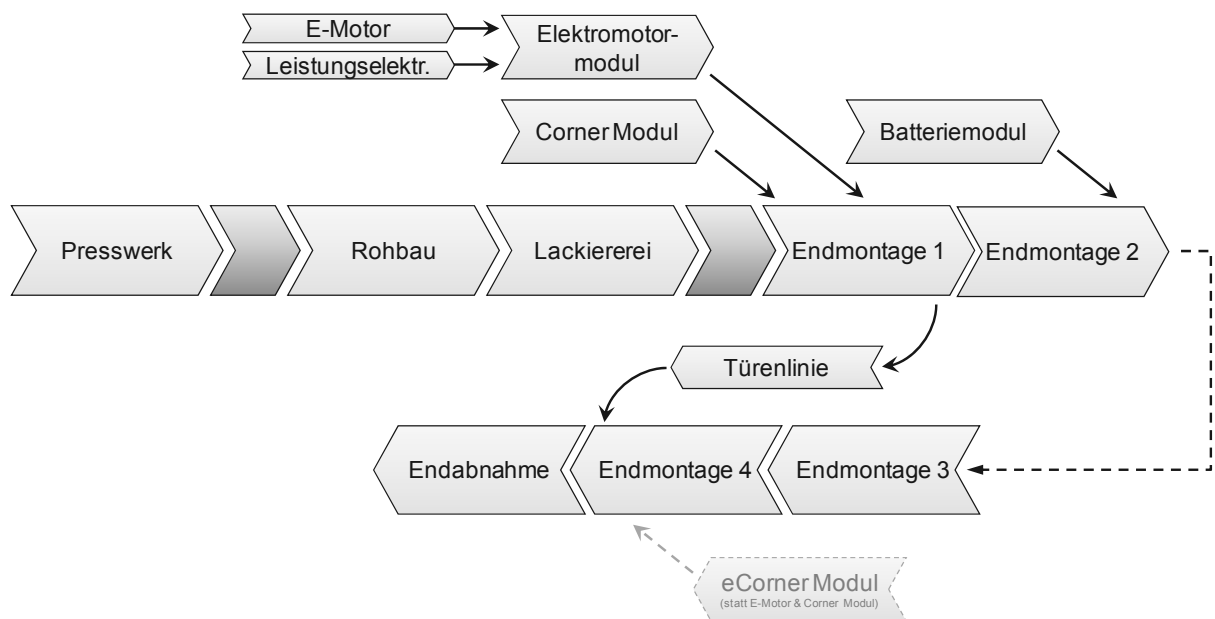


Abb. 4-23: Produktionsstruktur Modulintegrator-Strategie

Neben der separaten Montage der Corner-Module und des Elektromotormoduls existiert die Möglichkeit der Integration eines eCorner-Moduls. Dieses besteht aus dem Reifen, der Felge, einem Radnabenmotor sowie zusätzlichen Fahrwerkskomponenten. Vorteile bietet ein eCorner-Modul besonders bei der Effizienz und der Fahrsicherheit, da zum einen jedes Rad einzeln angesteuert werden kann und zum anderen der direkte Antrieb des Rades einen verbesserten Wirkungsgrad durch eine Reduzierung mechanischer Verluste bedeutet. Zudem eröffnen sich dem Automobilhersteller neue Möglichkeiten bei der Umsetzung innovati-

ver Fahrzeugkonzepte. Nachteilig sind jedoch insbesondere der höhere Anteil ungedämpfter Massen sowie die deutlich anspruchsvollere Bauteilintegration angesichts des begrenzten Bauraums.

Durch die Auslagerung klassischer Tätigkeiten aus den Bereichen des Fahrwerks und des Antriebs eröffnen sich neue Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsstrukturen für den Automobilhersteller. Dabei können auch Hersteller mit einer vergleichsweise geringen Kompetenzbreite eine Elektrofahrzeugfertigung aufbauen. Differenzierung erfolgt bei diesen Herstellern vornehmlich über das Design und Interieur. Dabei erhöht sich, aufgrund des gestiegenen Fremdbezuges komplexer Bauteile, die Gefahr einer Abhängigkeit von Modullieferanten.

Von Vorteil sind bei diesem Ansatz die im Vergleich zur ICE-Strategie geringere Kapitalbindung und Grundinvestition. Aufgrund der Vereinfachung der Produktionsstruktur und einer möglichen Reduzierung des Entwicklungsaufwandes ergeben sich für den Automobilhersteller Kostenvorteile. Diese können besonders von Herstellern ausgeschöpft werden, welche über vergleichsweise wenig Kompetenzen verfügen und geringe Erfahrungen mit einer Großserienfertigung von Automobilen haben. Bei dem Ansatz einer Modulintegrator-Strategie reduziert sich auch der Abstimmungsbedarf mit den Zulieferern, da der jeweilige OEM aufgrund fehlender Kompetenzen nur wenig Einfluss auf die Entwicklung der Module nimmt. Zusätzlich kann durch die Verringerung der Komplexität in der Montage auch der Logistikaufwand reduziert werden.

Durch die vorgestellten Merkmale eignet sich dieser Ansatz vornehmlich für neue Wettbewerber und verhältnismäßig kleine Automobilhersteller. Für diese Gruppen ergeben sich Vorteile aus den geringeren Investitionssummen und der Auslagerung ganzer Kompetenzfelder an Zulieferer. Dabei müssen jedoch die fehlenden Differenzierungspotenziale im Segment des Antriebes durch Entwicklungen im Bereich der Karosserie und des Innenraums kompensiert werden. Für Großserienhersteller, welche z. B. über Kompetenzen im Bereich der Radaufhängung oder des Elektromotors verfügen, ist ein solcher Ansatz weniger attraktiv. Zwar kann über einen Fremdbezug die Komplexität reduziert werden, jedoch stellt der Verlust von Differenzierungspotenzialen einen deutlichen Nachteil dar.

#### **4.3.2.3 EV-Plattform-Strategie**

Ein Extremszenario für eine eigenständige Fertigung von Elektrofahrzeugen stellt die EV-Plattform-Strategie dar. Diese Produktionsstrategie stellt ein vollständig neues Produktionskonzept für Elektrofahrzeuge dar und beruht auf einer Trennung von Karosserie und Triebstrang. Dabei werden alle Komponenten des Antriebsstrangs, des Antriebsaggregates und des Fahrwerks in einer Plattform integriert. Die austauschbare Karosserie wird über standardisierte Schnittstellen mit der EV-Plattform verbunden. Dabei kann auch die Funktionalität des Fahrzeugs unabhängig von der Plattform verändert werden und z. B. auf die gleiche EV-Plattform die Karosserie einer Limousine, eines Kombis oder eines Pick-ups montiert werden. Auch durch die in diesem Produktionsszenario erforderlichen Steer- und Brake-by-Wire-Systeme werden weitere Freiheitsgrade bei der Gestaltung des Innenraums generiert.

Durch die radikale Umstrukturierung der Fahrzeugarchitektur ergeben sich neue Fahrzeugkonzepte. Dabei kann eine vollständige Entkopplung der Karosserie- von der Plattformfertigung realisiert werden und die Hochzeit als letzter Fertigungsschritt stattfinden. Abb. 4-24 stellt eine Übersicht der Produktionsstruktur dar. Dabei finden die Karosseriefertigung und die EV-Plattformfertigung auf zwei unabhängigen Linien statt, wobei die Vereinigung dieser Systeme entweder als letzter Schritt bei einem der beiden Hersteller erfolgt oder nachgelagert erst im Vertrieb stattfinden kann. Im Bereich der Karosseriefertigung entfallen dadurch alle wertschöpfenden Tätigkeiten aus den Segmenten Fahrwerk, Antriebsaggregat und Antriebsstrang. Im Gegensatz dazu kann in dem neuen Bereich der Plattformfertigung eine vergleichsweise hohe Wertschöpfung durch eine Integration der Komponentenfertigung sowie durch eine Realisierung von Skaleneffekte erzielt werden. Dabei gestaltet sich die Produktionsstruktur ähnlich der einer elektrofahrzeugspezifischen Triebsatzfertigung. Unterschiede resultieren hier vornehmlich aus der selbsttragenden Struktur der EV-Plattform und der Integration aller für das elektrische Fahren benötigten Komponenten.

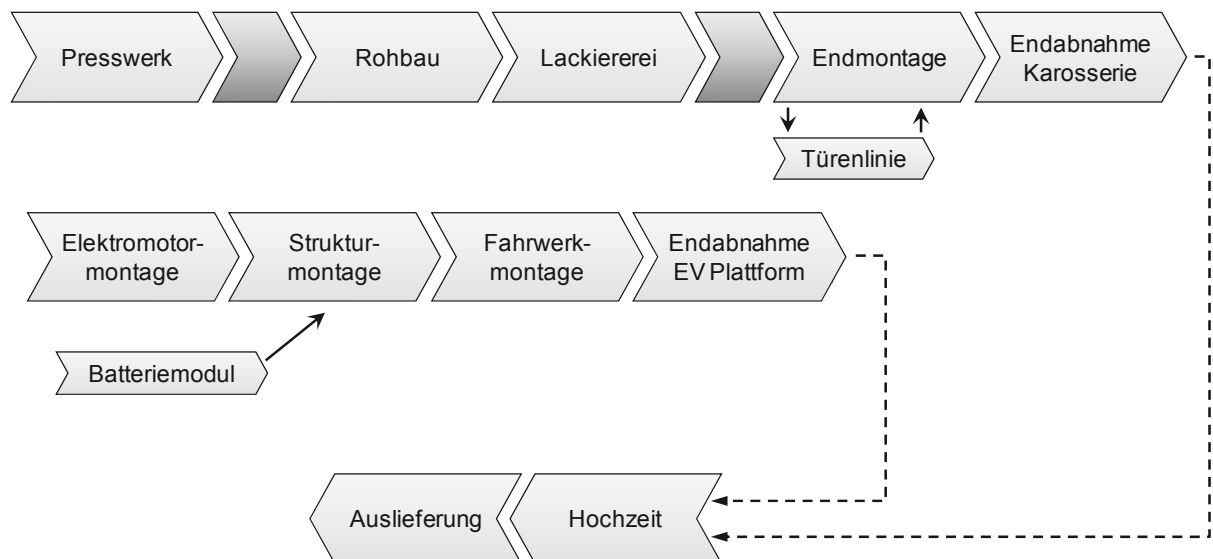


Abb. 4-24: Produktionsstruktur EV-Plattform-Strategie

Hervorzuheben ist bei diesem Szenario der vergleichsweise geringe Entwicklungsaufwand seitens des Karosserieherstellers. Dadurch kann dieser in kurzer Zeit neue Modelle auf den Markt bringen und auch ohne Kompetenzen in den Bereichen des elektrischen Antriebs Elektrofahrzeuge produzieren. Von Vorteil, besonders für neue Wettbewerber, sind hier die vergleichsweise geringen Investitionssummen und die Reduzierung der Komplexität der gesamten Fahrzeugfertigung. Der geringe Abstimmungsbedarf mit dem Zulieferer der Plattform, die vergleichsweise einfache Steigerung der Anzahl an Derivaten und die Möglichkeit zur kundennahen Individualisierung des Fahrzeugs sind weitere Eigenschaften dieses Szenarios.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass diese ausgeprägte Form der Umstrukturierung vornehmlich für kleinere Automobilhersteller und neue Wettbewerber Vorteile bietet. Hier

überwiegen die positiven Effekte des reduzierten Investitionsrisikos sowie des vergleichsweise geringen Kompetenzbedarfs. Im Gegensatz dazu überwiegen für bestehende Automobilhersteller die Nachteile durch den Verlust der Wertschöpfungstiefe. Besonders der Entfall des klassischen Kompetenzbereichs des Fahrwerks mindert die Attraktivität dieses Szenarios für große OEM. Dabei ist eine interne EV-Plattform-Strategie für OEM dennoch denkbar, da sich Skaleneffekte über die Systemgleichheit verschiedener Modellpaletten ausschöpfen lassen. Hier ist jedoch eine weniger starke Trennung in Plattform und Karosserie zu erwarten, so dass die strukturellen Änderungen in der Produktion geringer ausfallen als bei einer Bereitstellung der EV-Plattform durch einen externen Anbieter.

### 4.3.3 Zusammenfassung der Produktionsstrukturen

Durch die technologischen Veränderungen und die Komplexitätsverschiebung in der Fahrzeugarchitektur von Elektroautos sehen sich die Automobilhersteller mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Dabei gilt es zum einen die Fertigung elektrifizierter Fahrzeuge in bestehende Strukturen zu integrieren und zum anderen eine eigenständige Elektrofahrzeugfertigung für größere Stückzahlen zu konzipieren. Im Rahmen des Projektes wurden ausgehend von einem Green-Field sowie einem Brown-Field-Ansatz mehrere Szenarien für die Elektrofahrzeugfertigung entwickelt. Eine zusammenfassende Darstellung der Szenarien in einer Roadmap liefert Abb. 4-25.

Bei dem Aufbau des Brown-Field-Ansatzes wurde als erste Möglichkeit die vollständige Integration aller elektrofahrzeugspezifischen Prozesse in die vorhandenen Strukturen untersucht. Dabei kann zusammengefasst werden, dass diese Variante ein vergleichsweise geringes Investitionsrisiko birgt, jedoch aufgrund der negativen Auswirkungen auf die Fertigung der verbrennungsmotorisierten Fahrzeuge nur für kleine Stückzahlen von BEVs geeignet ist. Im Gegensatz dazu ist die Fertigung mit ausgetakteten Prozessen für mittlere Stückzahlen geeignet, wobei hier das Investitionsvolumen sowie der Platzbedarf für die zusätzlichen Fertigungsbereiche höher sind.

Resultierend aus den Nachteilen einer gemischten Fertigung von konventionellen Fahrzeugen und Elektrofahrzeugen ist eine eigenständige Fertigung elektrifizierter Fahrzeuge bei steigenden Stückzahlen unumgänglich. Im Rahmen des Green Field Ansatzes wurden die ICE-, die Modulintegrator- und die EV-Plattformstrategie analysiert. Hier eignet sich die ICE-Strategie vornehmlich für bestehende OEM und die EV-Plattform-Strategie für neue Wettbewerber. Bei der Modulintegrator-Strategie existieren sowohl für bestehende als auch für neue Automobilhersteller Potenziale, da die Intensität der Modularisierung deutlich variieren kann. Dieser Ansatz wird aufgrund der Zunahme an Derivaten und der dafür benötigten weiteren Modularisierung als besonders vielversprechend erachtet. Im Gegensatz dazu gilt eine Umsetzung des Extremszenarios der EV-Plattform-Strategie als unwahrscheinlich, da dieser Ansatz vor allem für die Automobilhersteller einen deutlichen Wertschöpfungsverlust bedeutet.

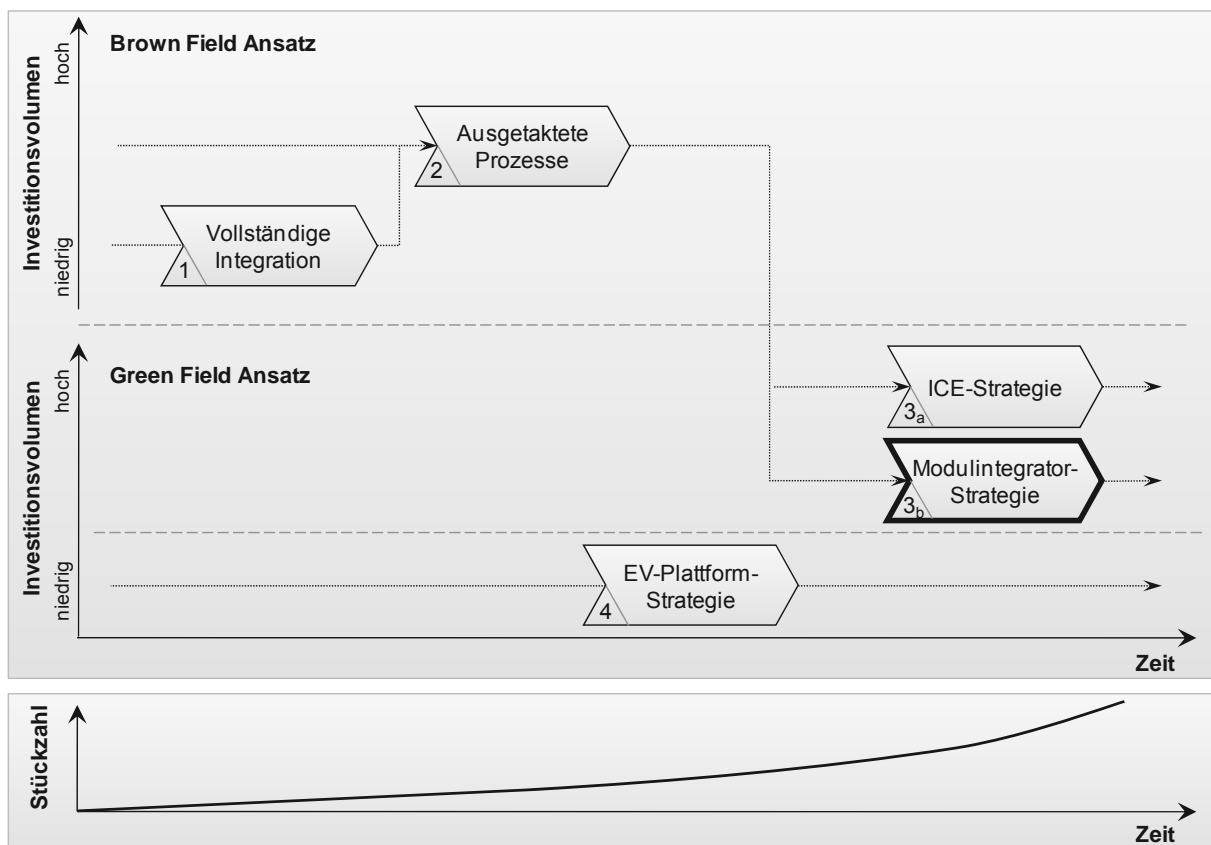


Abb. 4-25: Roadmap der Szenarien der Elektrofahrzeugfertigung

#### 4.4 Analyse der Produktionsstrukturen für Schlüsselkomponenten

Ergänzend zu der Analyse der Produktionsstruktur des Gesamtfahrzeugs wurde in einem weiteren Arbeitsschritt die Produktionsstruktur für ausgewählte Schlüsselkomponenten eines Elektrofahrzeugs detailliert analysiert. Dabei wurden die Schlüsselkomponenten Elektromotor, Batterie und Leistungselektronik betrachtet. Wie bereits bei der Analyse der Produktstruktur wurde zudem auch das Brennstoffzellensystem berücksichtigt.

##### 4.4.1 Produktionsstrukturen für Elektromotoren

Innerhalb dieses Unterkapitels wird ein beispielhafter Produktionsprozess für die Großserienfertigung von Elektromotoren beschrieben. Die einzelnen Komponenten eines Elektromotors sind in Abb. 4-26 in einer Strukturdarstellung abgebildet. Dabei wurde eine Unterteilung in die Ebenen Komponenten, Grundmodul, Montageeinheit und E-Maschine vorgenommen.

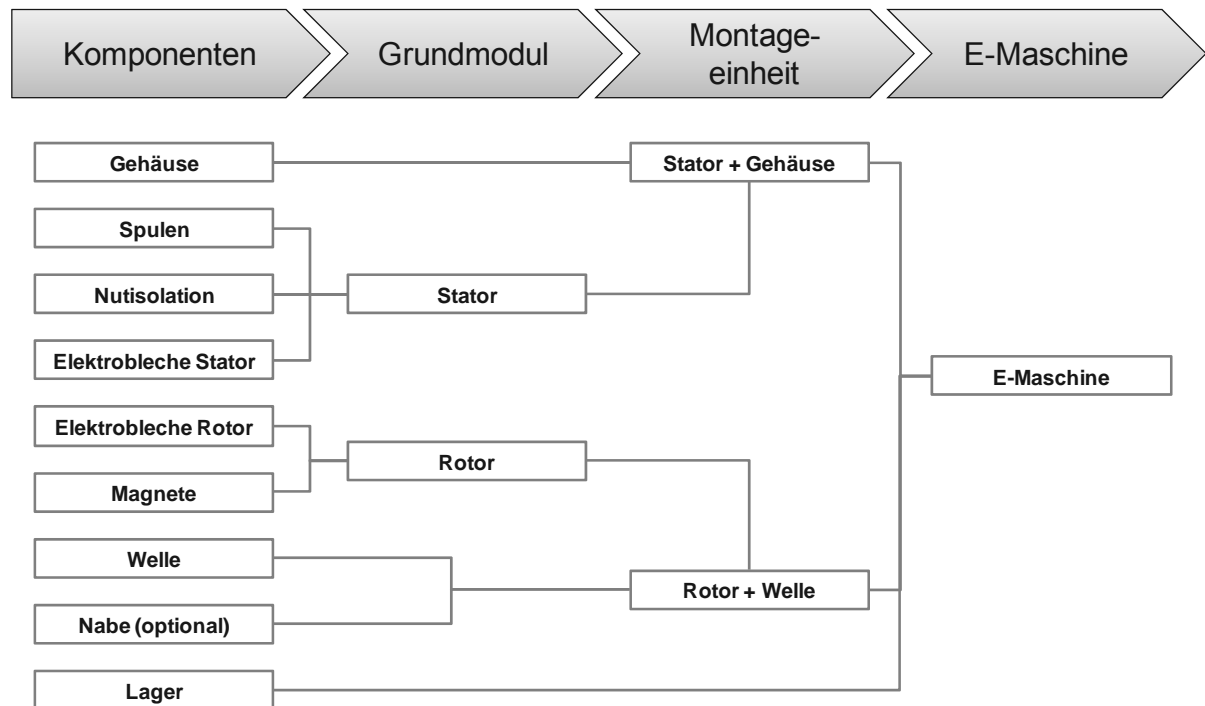


Abb. 4-26: Strukturdarstellung eines Elektromotors

Die Welle des Rotors eines Elektromotors für den automobilen Einsatz muss besonderen mechanischen Ansprüchen genügen. Das Rohteil wird durch Kaltumformen und anschließendes Härten hergestellt. Zudem werden auch geschmiedete oder gegossene Wellen eingesetzt. In der nachfolgenden spanenden Bearbeitung werden Nuten und Absätze der Welle realisiert. Dabei muss außerdem die geforderte Passgenauigkeit der Welle sichergestellt werden. [KAM12] Im Anschluss an die spanende Bearbeitung ist gegebenenfalls eine erneute Wärmebehandlung notwendig.

Zur Fertigung von Rotor und Stator werden Blechpakete benötigt. Hierzu werden die einzelnen Bleche zunächst in einem Stanz- oder Laserschneidprozess ringförmig zugeschnitten [KAM12]. Diese Bleche werden anschließend gestapelt und zu einem Blechpaket zusammengefügt. Dies kann z. B. durch Pressen, Schweißen oder Kleben erfolgen. Durch unzureichende Genauigkeit beim Fügen der einzelnen Blechlagen kann eine anschließende spanende Bearbeitung erforderlich werden. [WZL12c]

Die Nuten des Blechpakets des Rotors werden anschließend mit Permanentmagneten (PMSM) oder kurzgeschlossenen Metallstäben (ASM) bestückt und mit diesen verklebt. Rotor und Rotorwelle werden gefügt, indem die (Stickstoff-)gekühlte Welle in das Blechpaket des Rotors geschoben wird. Durch das Erwärmen der Welle auf Umgebungstemperatur und die damit verbundene Ausdehnung stellt sich eine kraftschlüssige Verbindung ein. Diese neu entstandene Einheit wird im Anschluss bandagiert. Nach dem Auswuchten ist die Einheit aus Rotor und Welle fertiggestellt. [KAM12, WZL12c]



Um die Blechpakete des Stators elektrisch von den stromdurchflossenen Wicklungen zu isolieren muss zunächst eine Isolationsfolie in die Nuten eingebracht werden. Im Wickelprozess wird dann der Draht in die Nuten des Stators gewickelt. Der Wickelprozess ist eine wichtige Stellgröße in Bezug auf die Leistungsdichte und den beanspruchten Bauraum des Elektromotors. Dabei ist insbesondere ein hoher Füllfaktor anzustreben. Der Füllfaktor ist das Verhältnis aus effektiver Kupferfläche der Wicklung zur maximalen theoretischen Bauraumquerschnittsfläche des Motors. [KAM12] Das an den Wickelprozess anknüpfende Verschalten des Drahtes kann z. B. durch Schweißen, Löten oder durch den Einsatz von Klemmkontakten erfolgen. [WZL12c] Um das Blechpaket und die Wicklungen zu einer mechanisch homogenen Einheit zu verbinden und gegenüber mechanischen Einflüssen und Umwelteinflüssen zu schützen, wird die entstandene Einheit mit einem Harz imprägniert. Die gebräuchlichsten Verfahren sind das Träufeln, Tauchen, Vakuum- oder Vakuum-Druck-Verfahren sowie das neuartige Strom-UV-Imprägnieren. [DUP08]

Das Gehäuse eines Elektromotors wird im Druckgussverfahren in einer Gießerei gefertigt. Wird für die Produktion des Gehäuses eine Aluminiumlegierung verwendet, eignet sich aufgrund des niedrigen Schmelzpunktes des Werkstoffs vor allem das Kaltammerdruckgussverfahren. Da für dieses Verfahren hohe Anlagen- und Werkzeugkosten notwendig sind, ist der Einsatz erst bei großen Stückzahlen wirtschaftlich sinnvoll. Um im Gussprozess entstandene Grate zu beseitigen, muss das Gehäuse anschließend einer spanenden Bearbeitung unterzogen werden. Auch die Maßhaltigkeit der Zentrierränder für einen guten Rundlauf und ein konstant großer Luftspalt der Maschine können nur durch eine spanende Nachbearbeitung erreicht werden. In diesem Prozessschritt werden auch die benötigten Lagersitze sowie Bohrungen und Gewinde in der Gehäusewand hergestellt. [WZL12c]

In der Endmontage des Elektromotors wird zunächst der Stator in das erwärmte Gehäuse geschoben, so dass nach dem Angleichen der Temperaturen eine Presspassung entsteht. Im folgenden Schritt wird die Welle mit dem verbundenen Rotor in den Lagersitz des Gehäuses eingeführt. Zur Komplettierung werden Sensorik und Lagerschilde montiert. Nach dem Anschluss aller Komponenten wird eine End-of-Line-Prüfung vorgenommen. [WZL12c]

Abb. 4-27 zeigt eine Zusammenfassung der in den vorhergehenden Abschnitten erläuterten Produktionsschritte eines Elektromotors.

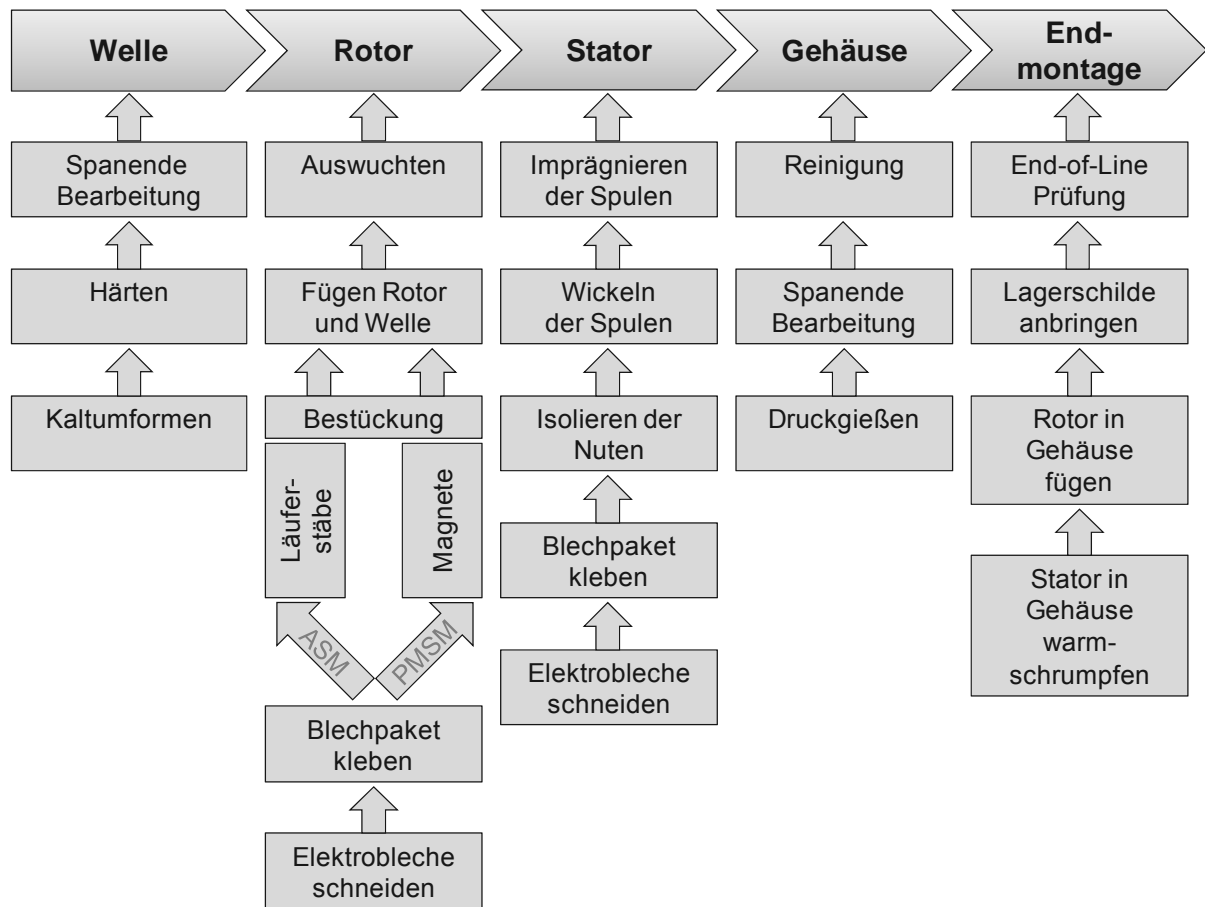


Abb. 4-27: Produktionsschritte eines Elektromotors in Großserie

#### 4.4.2 Produktionsstrukturen für Batterien

Zur Abbildung der Produktionsstruktur eines Batteriesystems wurden zunächst die Komponenten sowie der Aufbau einer Traktionsbatterie detaillierter untersucht. Das Batteriesystem eines Elektrofahrzeugs besteht aus mehreren Batteriemodulen, die sich wiederum aus mehreren Batteriezellen zusammensetzen, vgl. Kapitel 4.2.2. Weitere Komponenten eines Batterie-Packs sind das Batteriemanagementsystem, ein Anschluss für das Kühlsystem sowie die Kühlkomponenten, die Cell Supervision Circuit (CSC)-Platine zur Zellüberwachung und ein Hochvoltanschluss, vgl. Abb. 4-28. Die einzelnen Komponenten eines Batteriesystems sind in Abb. 4-29 in einer Strukturdarstellung abgebildet. Dabei wurde eine Unterteilung in die Ebenen Komponenten, Zelle, Modul und Batterie vorgenommen, die auch die Grundlage für die Struktur des Produktionsprozesses bilden. Der im Folgenden vorgestellte Produktionsprozess bezieht sich auf die Produktion einer Lithium-Ionen-Flachzelle, kann aber grundsätzlich auch für andere Batterietypen adaptiert werden.



Innenwiderstand durch einen speziellen Ladevorgang angeglichen und endgültig festgelegt. Das Formieren dauert je nach Zelltyp und Eigenschaften mehrere Stunden bis Tage. Zum Abschluss dieses Produktionsschritts folgt eine längere Lagerung (Aging) der Batteriezellen und ein End-of-Line-(EOL)-Test. [WZL12a]

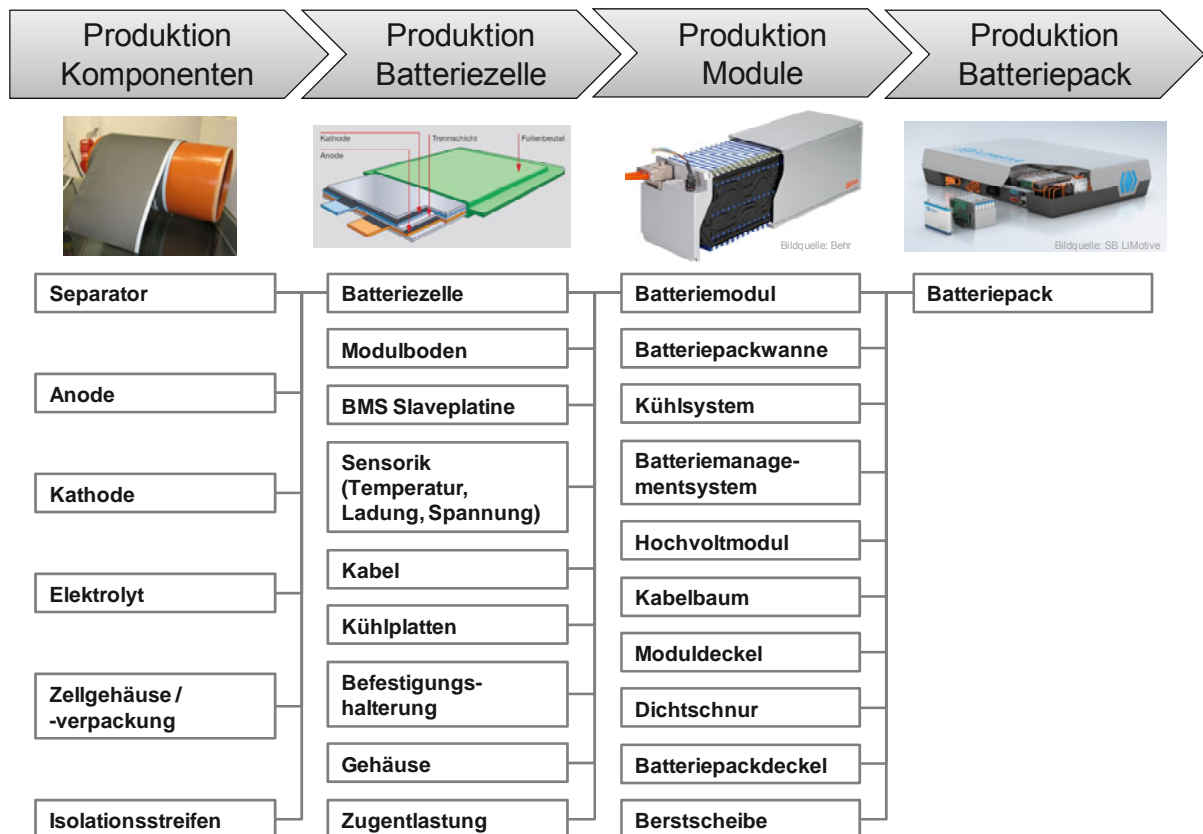


Abb. 4-29: Strukturdarstellung eines Batteriesystems

Im dritten Produktionsabschnitt fertigen Batteriehersteller, Zulieferer oder OEM aus den Batteriezellen unter Verwendung zusätzlicher Bauteile wie Gehäuse, Kabel und Sensorik die Module. Nachdem die Einzelzellen zu einem sogenannten Zell-Stack gestapelt und die Vormontage in einem Rahmen stattgefunden hat, werden diese zu einer Reihen- und/oder Parallelschaltung miteinander verbunden. Zur späteren Überwachung der Zellen im Betrieb wird die Platine des Zellmanagementsystems (ZMS) montiert. Die entstandene Einheit wird einem Inline-Test unterzogen. Des Weiteren werden Kühlplatten angebracht. Die so im Rahmen montierten Modulbestandteile werden in das Modulgehäuse eingelassen, welches daraufhin verschlossen und einer Prüfung unterzogen wird. [WZL12b]

Im letzten Schritt werden die Module zusammen mit weiteren Elementen wie dem Batteriemanagementsystem und dem Hochvoltmodul zu einem Batterie-Pack montiert. Zunächst werden die Batteriemodule in das Batteriegehäuse eingesetzt, mittels einer Kontaktschiene miteinander verbunden und im Batteriegehäuse verschraubt. Nachdem das Batteriemanagementsystem (BMS) und der Hochvoltanschluss montiert wurden, erfolgt eine EOL-Prüfung. Abschließend wird die Batterie abgedichtet und vollständig geladen. [WZL12b]

Abb. 4-30 zeigt eine Zusammenfassung der in den vorhergehenden Abschnitten erläuterten Produktionsschritte eines Lithium-Ionen-Batteriesystems.

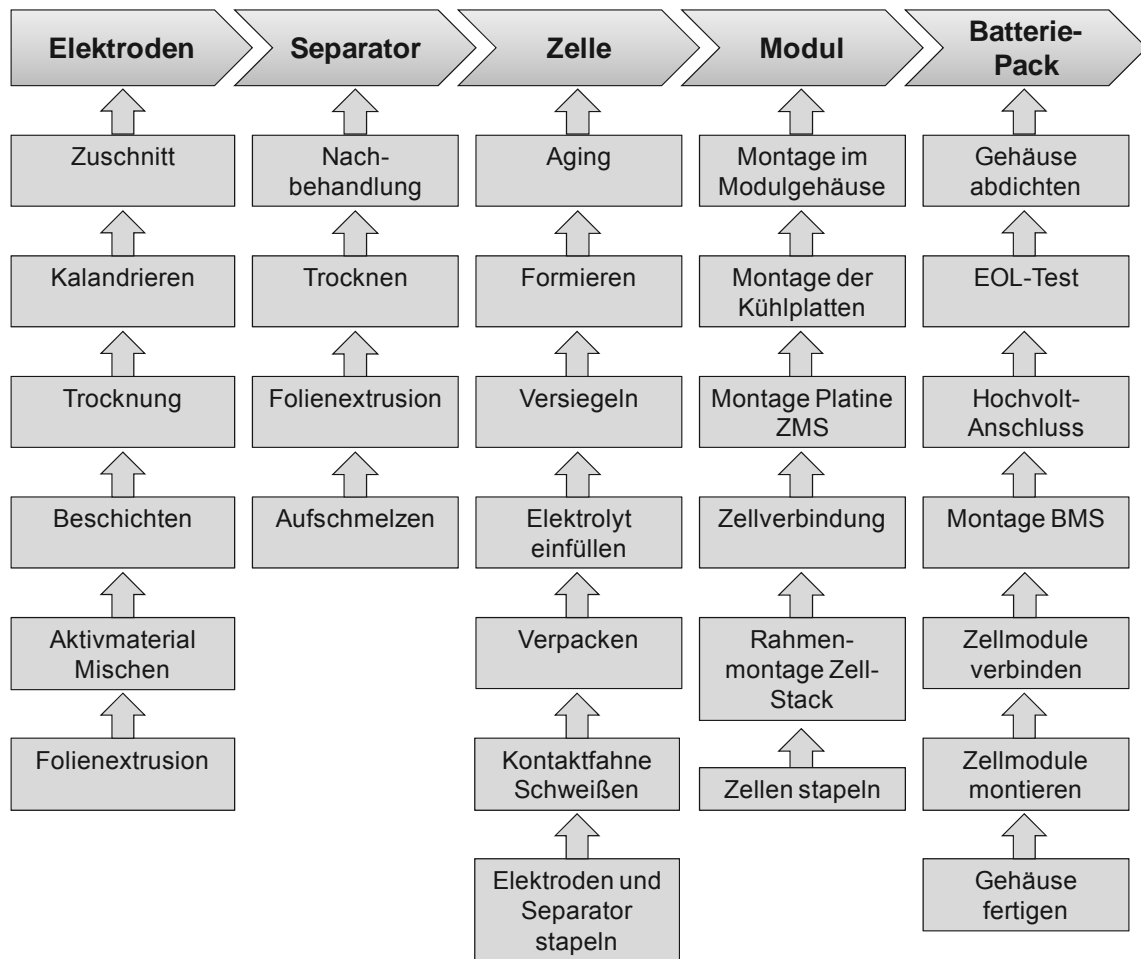


Abb. 4-30: Produktionsprozess eines Lithium-Ionen-Batteriesystems

#### 4.4.3 Produktionsstrukturen für Leistungselektronik

Wechselumrichter übernehmen die Umwandlung des Gleichstroms der Traktionsbatterie in Wechselstrom für den Elektromotor und stellen daher das zentrale leistungselektronische Bauteil in einem Elektrofahrzeug dar. Exemplarisch für die in BEVs eingesetzte Leistungselektronik wird in den folgenden Abschnitten der Produktionsprozess für die Großserienproduktion eines Wechselumrichters dargestellt. Wie bereits in Kapitel 4.2.3 erläutert, setzt sich ein Wechselumrichter im Wesentlichen aus dem Leistungsmodul, der Steuerungselektronik, Folienkondensatoren und dem Gehäuse zusammen.

Der Produktion des Leistungsmoduls vorgelagert werden zunächst die im Leistungsmodul verbauten Hochleistungs-Halbleiterschaltungen bei einem auf die Halbleiterherstellung spezialisierten Zulieferer produziert. Im ersten Produktionsschritt, dem sogenannten Frontend, werden mikroelektronische Schaltungen hergestellt. Als Grundplatte für diese Schaltungen dient der Wafer, der aus einer dünnen Platte aus extra gezüchtetem, hochreinem und mono-

kristallinem Silizium besteht. Die Schaltungen entstehen durch das Auftragen und Modifizieren mehrerer funktionaler Schichten auf den Wafer. Typischerweise angewandt wird das Verfahren der Fotolithographie. In diesem wird durch Oxidation eine Oxidschicht auf dem Wafer erzeugt, so dass ein Fotolack aufgetragen werden kann. Durch eine strukturierte Maske wird das Bauteil anschließend belichtet. Unbelichtete Stellen können in einem nachfolgenden Schritt gelöst bzw. weggeätzt werden. Durch Dotierung wird nun die Leitfähigkeit geändert. Auf die so entstandene Schicht wird durch Metallisierung eine Aluminium bzw. Kupferschicht ganzflächig aufgedampft und in einem ähnlichen Verfahren wie die Fotolackschicht bearbeitet. So entstehen übereinander gelagerte Strukturen leitender und isolierender Schichten. Im nächsten Schritt, dem Wafer-Test, werden die entstandenen Schaltungen einer Reihe von Tests unterzogen. Fehlerhafte Schaltungen werden markiert und können im späteren Verlauf der Fertigung aussortiert werden. Im dritten Schritt, dem Backend, wird die Platte des Wafers zersägt, um die vielen identischen Halbleiterschaltungen voneinander zu trennen. [KLE12, KAM14]

Zur Herstellung des Leistungsmoduls, vgl. Abb. 4-31 werden anschließend verschiedene Leistungs-Halbleiterschaltungen, z. B. Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode (insulated-gate bipolar transistor, IGBT), Thyristoren und Dioden, auf einer elektrisch isolierenden Schicht (DCB-Schicht) aus kupferbeschichtetem Keramiksubstrat festgelötet oder verklebt. Dieser Prozess wird als Die-Bonding bezeichnet. Der Begriff Bonden wird in der Aufbau- und Verbindungstechnik allgemein zur Bezeichnung von Verbindungsprozessen verwendet. Da die Strapazierbarkeit einer Lötverbindung begrenzt ist, wird bei hochbelasteten Verbindungen das Fügen von DCB und Halbleitern teilweise durch einen Sinterprozess realisiert. Dazu müssen sowohl die Oberfläche der DCB-Schicht als auch die der Halbleiter vor dem Sintern metallisiert werden. [EIS09] Zur elektrischen Verbindung der Schaltungen wird anschließend ein dünner Draht, der sogenannte Bonddraht, an den vorgesehen Stellen angeschweißt. Dieser Prozess wird Wire-Bonding genannt. [KLE12] Diese Einheit wird auf eine, meist aus Aluminiumkeramik und Kupfer spanend gefertigte, Bodenplatte geklebt oder gelötet und anschließend in ein Kunststoffgehäuse eingebaut. Die Zwischenräume im Gehäuse werden mit einem Silikongel aufgefüllt. [FRA12]

In einem weiteren Produktionsschritt werden die Folienkondensatoren hergestellt. Im Folgenden wird der Produktionsprozess eines gewickelten Folienkondensators dargestellt. Der Folienkondensator wird aus einer ca. 0,03  $\mu\text{m}$  dicken Kunststoffolie hergestellt. Nach dem Extrudieren wird diese im Vakuum-Verfahren mit Aluminium oder Zink beschichtet (Metallisierung) und auf die gewünschten Maße geschnitten. [FRA12] Im darauf folgenden Schritt werden zwei dieser Folienabschnitte leicht gegeneinander versetzt zum sogenannten Mutterkondensator gewickelt. Dieser Mutterkondensator wird im weiteren Verlauf durch mehrere Schnitte in kleinere, halbfertige Kondensatoren geteilt. [PHI96] Der elektrische Kontakt wird in der Regel an der Stirnfläche der gewickelten Folien durch das Aufspritzen eines geschmolzenen Metalls hergestellt (Schoppierung). Nach dem Schweißen oder Löten der Anschlussfahnen an die Folien werden diese zum Schutz des Kondensators mit einem Gehäuse versehen. Abschließend wird eine Überprüfung verschiedener relevanter elektrischer Kenngrößen (z. B. Kapazitätswerte) durchgeführt. [FRA12] Neben gewickelten Kondensato-

ren sind auch andere Kondensatorformen, wie flache oder quaderförmige Kondensatoren, üblich. Bei diesen Formen wird entsprechend eine Stapelung der Folien anstelle einer Wicklung vorgenommen [PAR14].

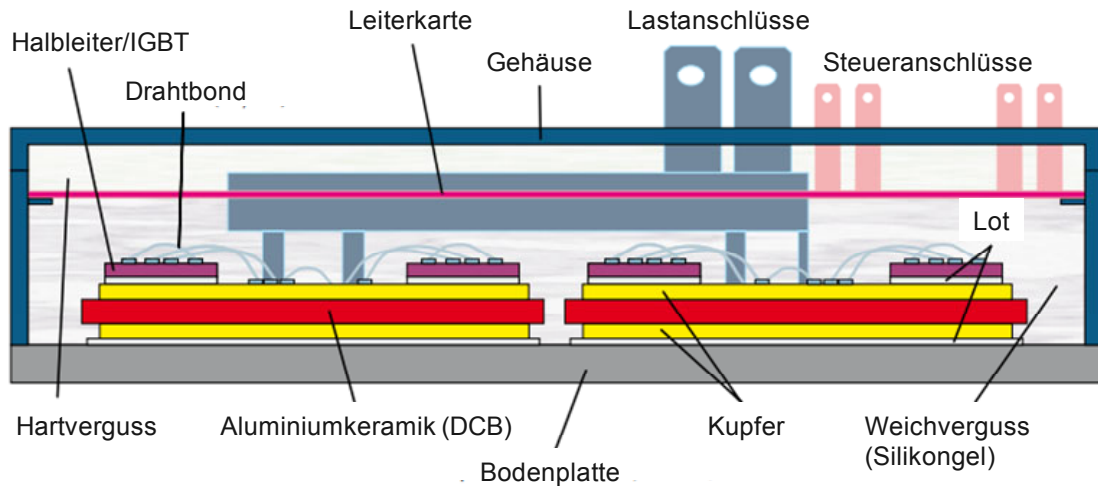


Abb. 4-31: Aufbau des Leistungsmoduls [CEB11]

Zur Herstellung der Steuerungselektronik werden zunächst die Leiterplatten aus einem elektrisch isolierendem Material gefertigt. Um den elektrischen Kontakt der im weiteren Verlauf auf die Leiterplatten montierten Bauelemente herzustellen, werden die Platten mit einem elektrischen Kontaktmittel versehen. Auf dieser Kontaktmittelschicht wird die Bestückung mit oberflächenmontierten Bauelementen vorgenommen, die als SMD (Surface-Mounted Devices) bezeichnet werden. Das Verfahren zur Bestückung, SMT (Surface-Mounting Technology), erfolgt dabei vollständig automatisiert. Kontaktierung und Fixierung werden durch Reflowlöten vorgenommen. Die Bestückung mit größeren Bauelementen, die in geringer Anzahl auf die Leiterplatte montiert werden müssen, erfolgt hingegen häufig durch eine manuelle oder halbautomatisierte Durchsteckmontage und anschließendes Wellenlöten. Solche Bauteile werden als THD (Through-Hole Devices) bezeichnet, das Verfahren zur Bestückung ist als THT (Through-Hole Technology) bekannt. Für eine möglichst effiziente Großserienproduktion wird versucht, den Anteil der THD zu minimieren und möglichst alle Bauteile mittels SMT vollautomatisiert montieren zu lassen. Aufgrund von Gewicht und Größe einiger Bauelemente sowie produktionstechnischen Beschränkungen ist dies jedoch nicht immer möglich. Darüber hinaus ist die Verfügbarkeit von SMD im Bereich der leistungselektronischen Bauelemente nicht immer gegeben. So werden auch in der Leistungselektronik meist mischbestückte Leiterplatten mit SMD und THD verwendet. Auch doppelseitig bestückte Leiterplatten sind üblich. Als SMD und THD für die Steuerungselektronik werden in der Regel Halbleiterschaltungen und Kondensatoren verwendet. [FEL09]

In einem letzten Produktionsschritt erfolgen die Herstellung des Gehäuses sowie die Endmontage der Leistungselektronik. Gehäuse aus Aluminium können bei ausreichender Stückzahl gut im Druckgussverfahren hergestellt werden. In den meisten Fällen ist nach dem Gießprozess eine spanende Nachbearbeitung erforderlich. Das fertige Gehäuse wird im

nächsten Schritt mit den zuvor gefertigten Baugruppen Leistungsmodul, Folienkondensator und Steuerungselektronik bestückt, angeschlossen und abgedichtet. Abschließend wird ein Funktionstest des Wechselumrichters durchgeführt.

Abb. 4-32 zeigt eine Zusammenfassung der in den vorhergehenden Abschnitten erläuterten Produktionsschritte eines Wechselumrichters.

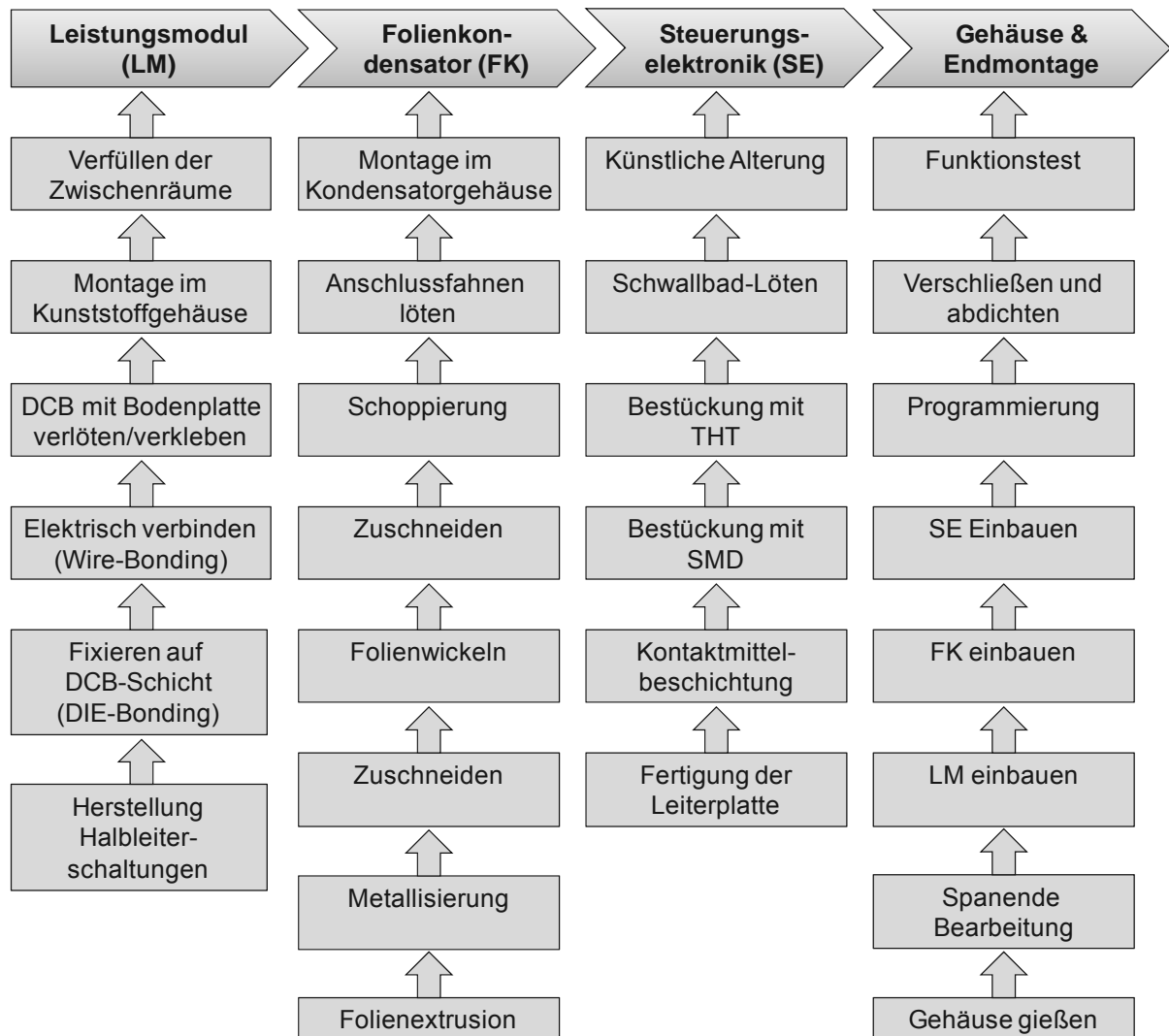


Abb. 4-32: Produktionsprozess eines Wechselumrichters [FRA12]

#### 4.4.4 Produktionsstrukturen für Brennstoffzellen

Im Folgenden wird der Produktionsprozess von Brennstoffzellensystemen mit PEM-(Proton Exchange Membrane)-Zellen beschrieben. Dabei wird eine aus einem Ionomer hergestellte semipermeable Membran verwendet, die protonendurchlässig ist aber Sauerstoff und Wasserstoff abschirmt. Die einzelnen Komponenten eines Brennstoffzellensystems sind in Abb. 4-33 in einer Strukturdarstellung abgebildet. Der Produktionsprozess kann prinzipiell in die



vier Teilschritte Produktion der Brennstoffzellenstacks, Stackmontage, Herstellung weiterer Komponenten und Montage des Gesamtsystems unterteilt werden.

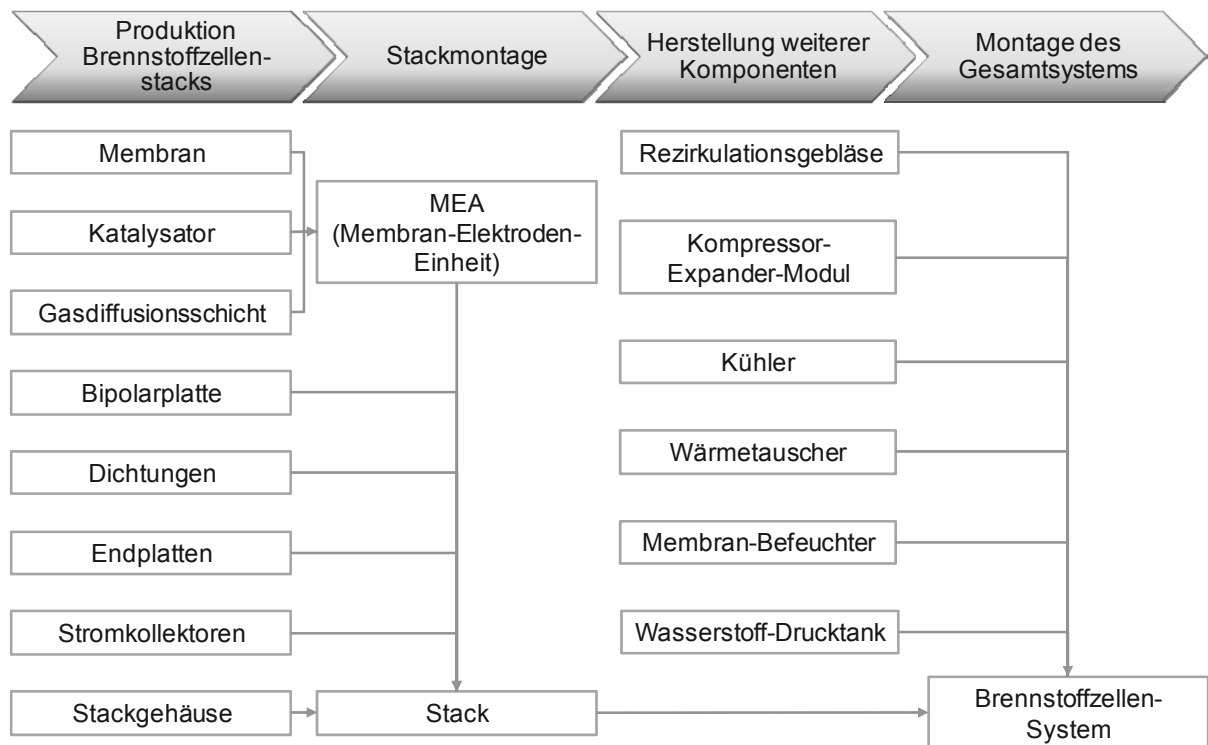


Abb. 4-33: Strukturdarstellung eines Brennstoffzellensystems

Der Brennstoffzellenstack ist die Kernkomponente des Brennstoffzellensystems. Die Produktion des Stacks kann in drei Unterprozesse unterteilt werden: Die Fertigung der Membran-Elektroden-Einheit, die Produktion der metallischen Bipolarplatten und die Produktion sonstiger Systemkomponenten.

Zur Fertigung der Membran-Elektroden-Einheit wird zunächst die Membran hergestellt. Dazu wird eine poröse Folie aus PTFE (Polytetrafluorethylen) mit einem Ionomer beschichtet, um ihre (Un-)Durchlässigkeit für die unterschiedlichen Ionen einzustellen. Im nächsten Fertigungsschritt wird die Katalysatorschicht hergestellt. Diese kann entweder auf die Elektroden oder auf die PEM-Folie aufgetragen werden. Eine Möglichkeit besteht darin, die Katalysatorschicht mittels Heißroll-Prozesse vom Trägermaterial auf beide Seiten der PEM-Membran zu übertragen. Diese wird anschließend im beschichteten Zustand wieder aufgewickelt. [FRA12]

In einem nächsten Schritt wird die Gasdiffusionsschicht hergestellt. Dazu wird ein etwa 100 µm dünnes makroporöses Trägermaterial, das z. B. aus Kohlenstoffpapier oder -fasergewebe besteht, durch ein PTFE-Tauchbad geführt, wo eine makroporöse Schicht aus Polytetrafluorethylen (PTFE) aufgetragen wird. Nach einer ersten Trocknung wird mittels Sprühauftragung eine zweite, mikroporöse PTFE-Schicht aufgetragen, die in drei Stufen getrocknet wird. Die Membran wird mit einer Gasdiffusionsschicht je Membranseite zusammengeführt und heiß verpresst. Daran anschließend wird die zusammengepresste

Membran-Elektroden-Einheit auf die erforderlichen Maße zurechtgeschnitten. und in einem Magazin gestapelt. Im letzten Schritt wird die MEA mit dem Rahmen und Dichtungen verschweißt. [FRA12, KUR13]

Die Bipolarplatten haben u. a. die Funktion, die verschiedenen Zellelemente elektrisch zu verbinden, die benachbarten Zellen abzudichten und die Reaktionsgase an die MEA zuzuführen. Als Materialien werden Metalle, Graphit- oder Kompositmaterialien eingesetzt. Als Metalle können z. B. Edelstahl, Aluminium oder Titan verwendet werden. Dabei werden die medienführenden Löcher mittels Stanz- oder Laserschneidprozesse eingearbeitet. Die Kanäle zur Medienführung können durch Tiefziehen oder Hydroforming erstellt werden. Anschließend werden die Bipolarplattenhälften mittels Klebe- oder Laserschweißverfahren miteinander gefügt, um einen Hohlraum zur Führung des Kühlmediums zu bilden. Anschließend wird die zusammengesetzte Bipolarplatte mit einer Oberflächenbeschichtung versehen, die elektrisch leitfähig und elektrochemisch stabil ist. [FRA12, KRE08, WBZ08]

Zur Fertigung des Brennstoffzellenstacks werden weitere Komponenten wie Dichtungen, Endplatten, Stromkollektoren sowie das Stackgehäuse benötigt. Die Endplatten fixieren mechanisch die einzelnen Zellen und werden an den Enden des Stack montiert. Sie können entweder als nachbearbeitetes Gussteil oder Feinstanzteil hergestellt werden. Stromkollektoren, die den in der Brennstoffzelle erzeugten Strom ableiten, werden z. B. aus Aluminium- oder Kupferfolien geschnitten bzw. gestanzt und anschließend gelötet. Das Stackgehäuse wird z. B. mittels Vakuumtiefziehverfahren aus Polypropylen hergestellt. [FRA12]

Der zweite Produktionsschritt eines Brennstoffzellensystems ist die Montage des Brennstoffzellenstacks. Dabei werden über rotierende Montageteiler abwechselnd MEA-Einheiten und Bipolarplatten in den Prozess eingegeben und geschichtet. In der Endmontage werden nun manuell die Stromkollektoren hinzugefügt und die Endplatten aufgesetzt. Der Stack wird bereits lose verschraubt im nächsten Montageprozess zusammengespresst und mit einem Zuganker festgezogen oder mit Metallbändern verschweißt. Anschließend wird ein Test zur Prüfung der Dichtigkeit hinsichtlich Wasserstoff-, Luft- und Kühlflüssigkeitsmanagement durchgeführt. Nachdem der Stack montiert wurde, folgt eine Stack-Konditionierung, bei der eine Serie von definierten Polarisierungstests durchgeführt wird. [FRA12]

Neben der Kernkomponente Brennstoffzellenstack werden in einem Brennstoffzellensystem viele weitere Systemkomponenten verbaut, die in parallelen Produktionsprozessen hergestellt werden. Abb. 4-34 stellt eine Übersicht dieser Komponenten sowie der wesentlichen Produktionsschritte dar. Exemplarisch wird im Folgenden die Produktion des Wasserstoffdrucktanks erläutert.

Der Wasserstoffdrucktank ist ein kritisches Element im Brennstoffzellensystem, da die Hülle einem sehr hohen Innendruck von über 700 bar standhalten muss. Der Werkstoff muss demzufolge eine sehr hohe Festigkeit bei gleichzeitig möglichst geringem Gewicht aufweisen. Ein geeigneter Werkstoff sind faserverstärkte Kunststoffe (CFK bzw. GFK). Wasserstoffdruck-

tanks bestehen aus einem Liner (Innenhülle) und einer Außenhülle. Beide können aus verschiedenen Materialien hergestellt werden.

Zuerst wird der Liner gefertigt. Dazu wird das Ausgangsmaterial (z. B. Metall) in einem Umformprozess in die gewünschte Form der Innenhülle gebracht und anschließend auf Dichtigkeit geprüft. Im nächsten Schritt wird der Liner mit Druck beaufschlagt und beschichtet. Der beschichtete Liner wird z. B. mit CFK umwickelt und nach einem Harzbad zum Aushärten und Trocknen in einen Ofen gegeben. Im nächsten Schritt werden die Glasfasern der Außenhülle über die CFK-Schicht gewickelt und anschließend ebenfalls ausgehärtet und gekühlt. Abschließend werden die Endkappen montiert. Der fertiggestellte Behälter wird auf Dichtigkeit und Maßhaltigkeit geprüft und gereinigt. Zur Komplettierung des Brennstoffzellensystems wird der Wasserstoffdrucktank in einem letzten Schritt zusammen mit dem Tanksystem im Fahrzeug verbaut. [FRA12, KUR13]

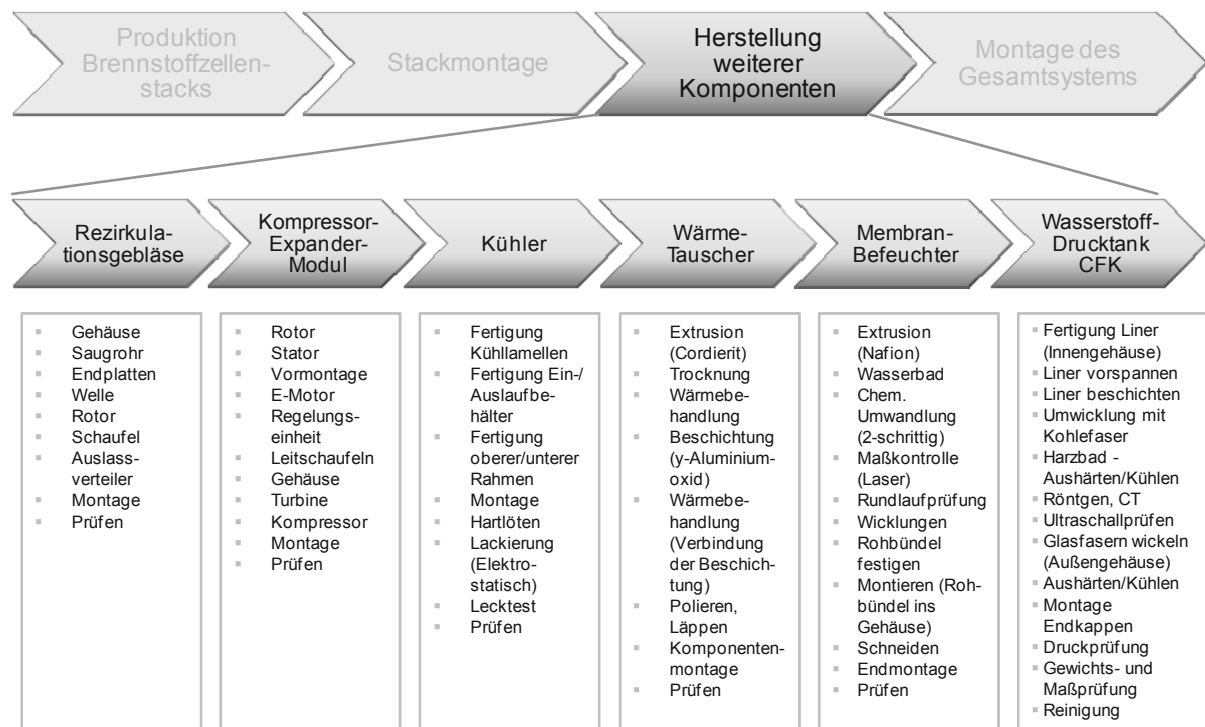


Abb. 4-34: Übersicht über die Herstellung weiterer Systemkomponenten [FRA12]

## 5 Modellierung der Wertschöpfungskette von Elektrofahrzeugen (AP 3)

Innerhalb des dritten Arbeitspunktes wurde zunächst der resultierende Anpassungsbedarf bei den Fahrzeugkomponenten (z. B. Entfall von Bauteilen, Neuteile, Übernahmeteile) identifiziert. In einem nächsten Schritt wurde die Wertschöpfungskette für die Schlüsselkomponenten Elektromotor, Batterie und Leistungselektronik untersucht. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde die zukünftige elektromobile Wertschöpfungskette modelliert. Durch einen Vergleich mit der in AP1 analysierten Wertschöpfungskette konventioneller Fahrzeuge wurden die durch Elektrofahrzeuge resultierenden Wertschöpfungsveränderungen dargestellt und in einem Wertschöpfungsmodell quantitativ abgebildet. Zur Analyse der derzeitigen Situation der Automobilzulieferer in NRW in Bezug auf die elektromobile Wertschöpfungskette wurde zudem eine Unternehmensdatenbank aufgebaut. Diese umfasst die regional in NRW vorhandenen Automobilzulieferer und beinhaltet Angaben zu derenzeitigem Produktportfolio. Darauf aufbauend wurde eine Kompetenzlandkarte zur Erfassung der aktuellen Kompetenzsituation in NRW erstellt. Die Ergebnisse des dritten Arbeitspunktes werden im vorliegenden Kapitel zusammenfassend dargestellt, vgl. Abb. 5-1.

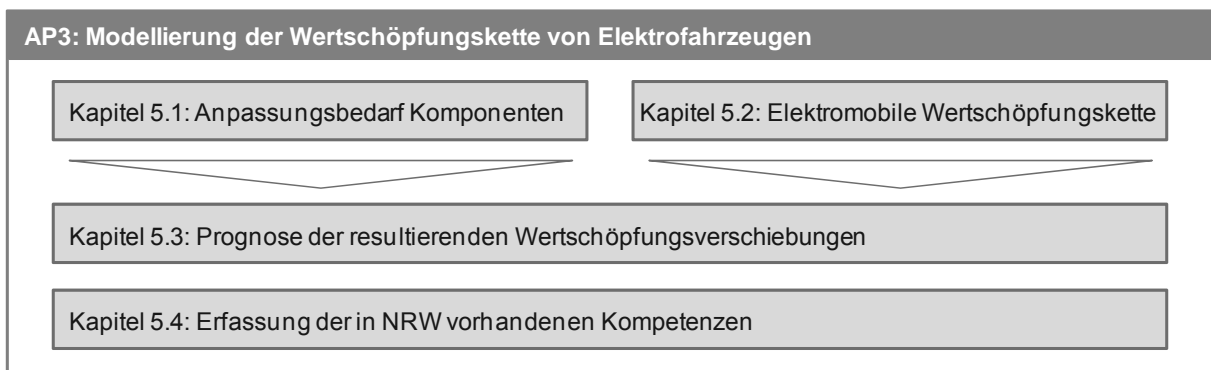


Abb. 5-1: Gliederung Kapitel 5 – Modellierung d. Wertschöpfungskette von Elektrofahrzeugen.

### 5.1 Anpassungsbedarf der Fahrzeugkomponenten

Aufbauend auf einem Vergleich der Referenzstruktur für ein konventionelles Fahrzeug mit der eines Elektrofahrzeugs wurde in diesem Arbeitsschritt der resultierende Anpassungsbedarf bei den Fahrzeugkomponenten von Elektrofahrzeugen untersucht. Dazu wurde eine Einteilung der Fahrzeugkomponenten in die Kategorien „Neues System/Modul“, „Entfallendes System/Modul“ sowie „Verändertes System/Modul“ vorgenommen. In Analogie zu der in AP 2 erstellten Referenzstruktur für ein Elektrofahrzeug wurde dabei zwischen zwei Entwicklungsstufen (konventionelle Fahrzeugarchitektur und optimierte BEV-Fahrzeugarchitektur) unterschieden.

Abb. 5-2 zeigt den Anpassungsbedarf bei Elektrofahrzeugen der ersten Entwicklungsstufe (konventionelle Fahrzeugarchitektur). Aufgrund der strukturellen Ähnlichkeit mit konventionellen Fahrzeugen wird bei dieser Entwicklungsstufe eine hohe Wiederverwendung von konventionellen Komponenten und Systemen (z. B. Bremssystem, Lenksystem, Klimasystem)

realisiert. Als neue Komponenten werden vor allem die Bestandteile des elektrischen Antriebsstrangs, die Hochvoltkomponenten der Elektrik/Elektronik sowie das PTC-Heizelement für eine elektrisch betriebene Fahrzeugheizung eingesetzt. Größere Veränderungen sind insbesondere bei dem Fahrzeuggetriebe, das als ein- oder zweistufiges Getriebe ausgeführt werden kann, und der Motorkühlung erforderlich.

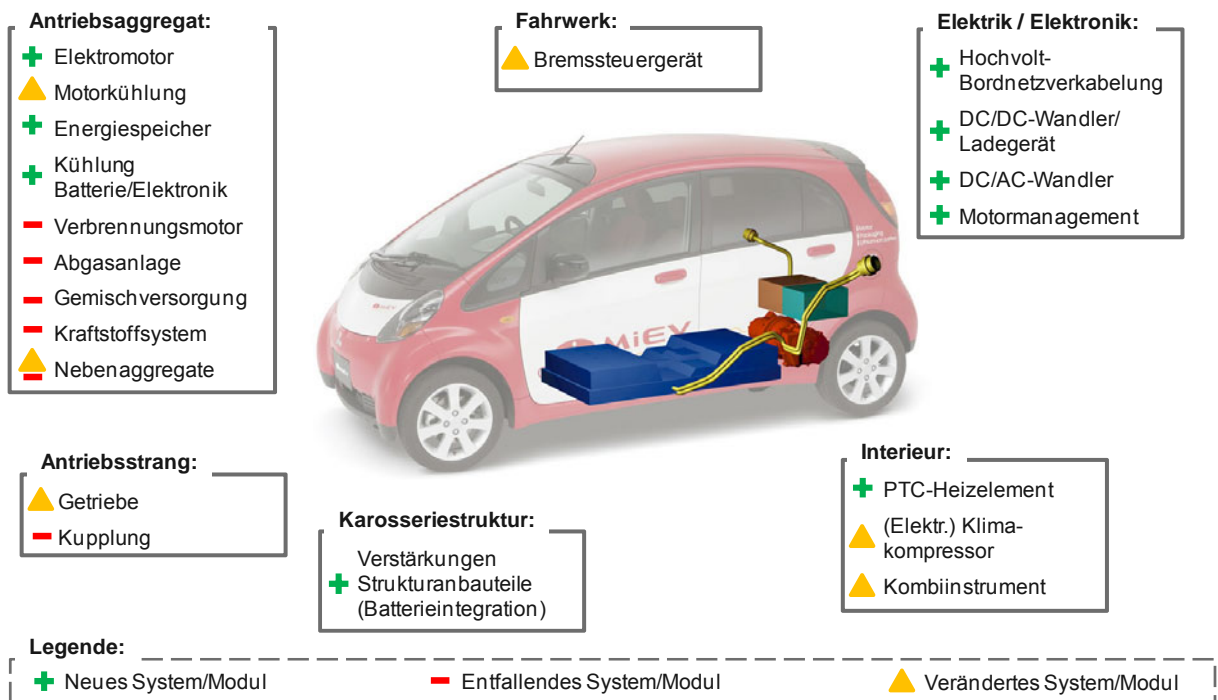


Abb. 5-2: Anpassungsbedarf bei Elektrofahrzeugen der Entwicklungsstufe 1

Bei Elektrofahrzeugen der zweiten Entwicklungsstufe resultiert ein deutlich höherer Anpassungs-/Änderungsbedarf bei den Fahrzeugkomponenten, vgl. Abb. 5-3. So entfallen beim Einsatz von Radnabenmotoren die Antriebswellen und das Differential. Gleichzeitig sind erhebliche konstruktive Änderungen beim Getriebe, der Radaufhängung sowie den Stoßdämpfern und der Federung erforderlich. Radnabenmotoren werden direkt im Rad eines Fahrzeuges verbaut. Neben einigen konzeptbedingten Nachteilen ergeben sich bei dieser Antriebsvariante vor allem Vorteile im Einsatz. Durch die direkte Übertragung der Antriebsleistung auf das Rad entfallen Teile des Antriebsstrangs, wie Antriebswelle und Differential. Gleichzeitig kommt es zu geringeren Übertragungsverlusten, was das Potenzial birgt, den Gesamtwirkungsgrad des Antriebs zu verbessern. Zudem ermöglicht der Einsatz mehrerer Motoren eine separate Drehzahl- und Drehrichtungsregelung der einzelnen Räder. Verbunden mit einer geringeren Trägheit der Übertragung kann das Fahrzeug dynamischer geregelt und zudem besser an verschiedene Fahrsituationen angepasst werden. Ein weiterer Vorteil von Radnabenmotoren ist die Gewinnung von neuem Bauraum und damit die Möglichkeit zur Realisierung von neuen Packagekonzepten. Negativ wirkt sich die erhöhte ungefederte Masse des Rades aus. Da sie unterhalb des Federbeins liegt, kann sie den Fahrkomfort verschlechtern. Darüber hinaus sind die Motoren eher schädigenden Umwelteinflüssen wie

Spritzwasser, Salz oder der Abwärme von Bremsen ausgesetzt. Insgesamt sind Radnabenmotoren derzeit noch vergleichsweise teuer. [SPR14]

Der verstärkte Einsatz von Leichtbaumaßnahmen bei Elektrofahrzeugen wird langfristig die Verwendung von neuen Karosseriewerkstoffen (z. B. CFK) und Bauweisen begünstigen sowie neue Karosseriestrukturen ermöglichen. Durch das hohe Batteriegewicht resultiert bei Elektrofahrzeugen ein Anstieg des Gesamtfahrzeuggewichtes, der nach Möglichkeit zu kompensieren ist. Durch eine Gewichtsreduktion und der damit verbundenen Verringerung der Fahrwiderstände kann bei einer gegebenen Batteriekapazität zudem eine höhere elektrische Reichweite realisiert werden. Dabei bietet die Karosserie das größte Gewichtsreduzierungs-potenzial, so dass bei Elektrofahrzeugen der zweiten Entwicklungsstufe auch veränderte Karosseriestrukturen und Leichtbauwerkstoffe von Bedeutung sind. Im Bereich des Karosserie-leichtbaus ist aktuell vor allem der Einsatz von CFK von Relevanz. CFK ist ein carbonfaser-verstärkter Kunststoff, der aus Kohlenstofffasern besteht die zu textilen Gelegen verflochten, in unterschiedlichen Lagen und Orientierungen gestapelt und in einem letzten Schritt mit flüssigem Harz verbunden werden. Im BMW i3 wurde z. B. die gesamte Karosseriestruktur erstmalig in der automobilen Großserie auf CFK ausgelegt und umgesetzt.

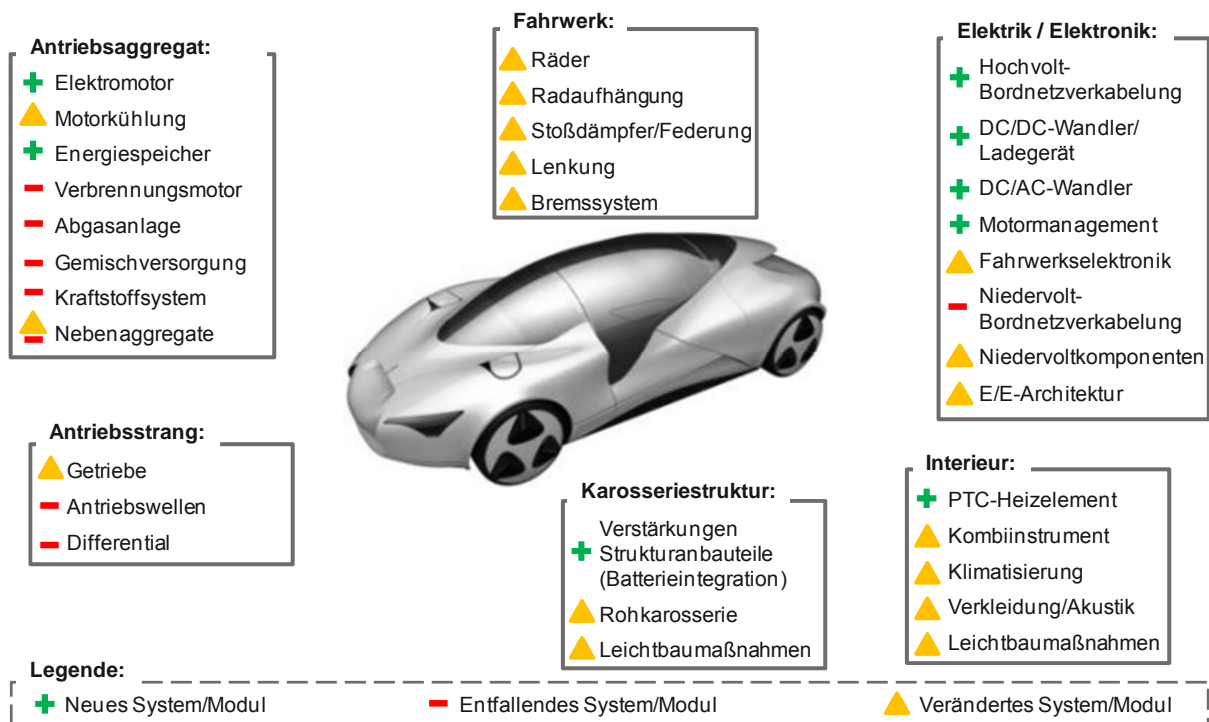


Abb. 5-3: Anpassungsbedarf bei Elektrofahrzeugen der Entwicklungsstufe 2

Auch im Bereich des Fahrwerks führt der Einsatz eines Steer-by-wire-Lenksystems und eines Brake-by-wire-Bremssystems zu einer kompletten Veränderung dieser Systeme. Darüber hinaus werden auch im Innenraum (insb. Klimatisierung) und bei der Elektrik/Elektronik technologische Veränderungen umgesetzt. Insgesamt resultieren durch den hohen Änderungs- und Anpassungsbedarf bei den Fahrzeugkomponenten große Freiheitsgrade in

der Fahrzeugentwicklung. Dadurch wird bei Elektrofahrzeugen der zweiten Entwicklungsstufe auch die Umsetzung von neuen Fahrzeugfunktionen möglich. So können z. B. beim Einsatz von Radnabenmotoren auch querdynamische Fahrzeugfunktionen (Torque Vectoring) in den Antriebsstrang integriert werden.

## 5.2 Abbildung der zukünftigen elektromobilen Wertschöpfungskette

Die Grundlage für die Modellierung der zukünftigen Wertschöpfungskette von Elektrofahrzeugen bilden die im zweiten Arbeitspunkt durchgeführten Analysen der Produkt- und Produktionsstruktur von Elektrofahrzeugen. Basierend auf der erstellten Referenzstruktur für Elektrofahrzeuge wurden die für die Produktion der Systeme und Module erforderlichen Wertschöpfungsaktivitäten identifiziert. Darüber hinaus wurde unter Verwendung von öffentlich verfügbaren Quellen untersucht, ob die entsprechenden Wertschöpfungsaktivitäten derzeit vom OEM oder vom Zulieferer abgedeckt werden. Dabei wurden für die Schlüsselkomponenten Batterie, Elektromotor und Leistungselektronik im Rahmen einer Detailanalyse auch die Wertschöpfungsanteile der einzelnen Wertschöpfungsstufen untersucht.

### 5.2.1 Abbildung der Wertschöpfungskette für Elektromotoren

Der im Folgenden dargestellten Wertschöpfungskette für Elektromotoren liegt die Massenproduktion eines permanenterregten Synchronmotors zugrunde. Dieser Motorentyp wird aktuell in einem Großteil der am Markt erhältlichen Elektrofahrzeuge eingesetzt. Bei der Wertschöpfungskette wurden die Wertschöpfungsstufen „Produktion von Komponenten“, „Rotor- und Statormontage“ und „Endmontage“ unterschieden. Ein Drittel der Wertschöpfung entfällt dabei auf die Produktion der Komponenten Blechpaket, Gehäuse und Welle. Die Herstellung und Montage von Rotor und Stator haben mit über 50 % den größten Wertschöpfungsanteil bei der Elektromotorproduktion. Ursächlich dafür ist vor allem der Rotor mit einem Anteil von 37 %, was insbesondere auf die hohen Materialkosten der verwendeten Permanentmagneten zurückzuführen ist. Die Endmontage von Stator, Rotor und Gehäuse ist für ca. 13 % der Wertschöpfung verantwortlich, vgl. Abb. 5-4.

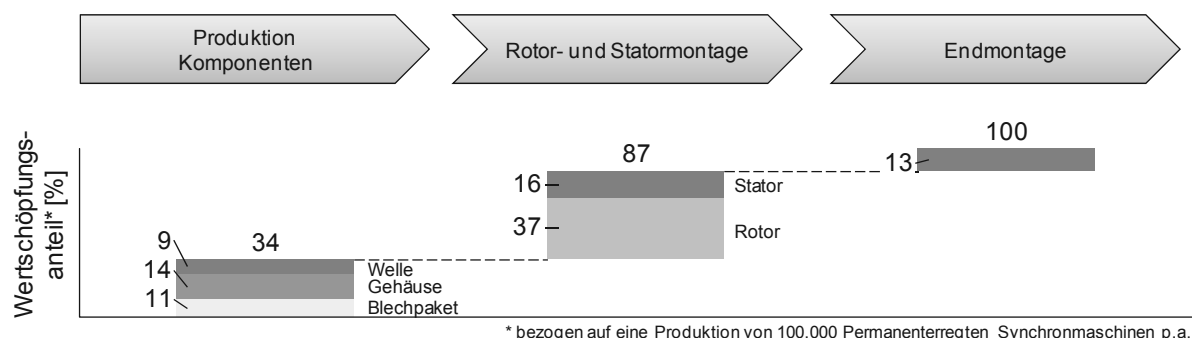


Abb. 5-4: Wertschöpfungskette für die Schlüsselkomponente Elektromotor [KAM14]

Der Elektromotor substituiert den in konventionell angetriebenen Fahrzeugen verwendeten Verbrennungsmotor, der bislang als markenprägendes Modul typischerweise von den Fahr-

zeugherstellern eigenständig entwickelt und produziert wird. Im Zuge der Elektrifizierung des Antriebsaggregats verfolgen die Hersteller bezüglich des Elektromotors aktuell verschiedene Wertschöpfungsstrategien, vgl. Abb. 5-5.

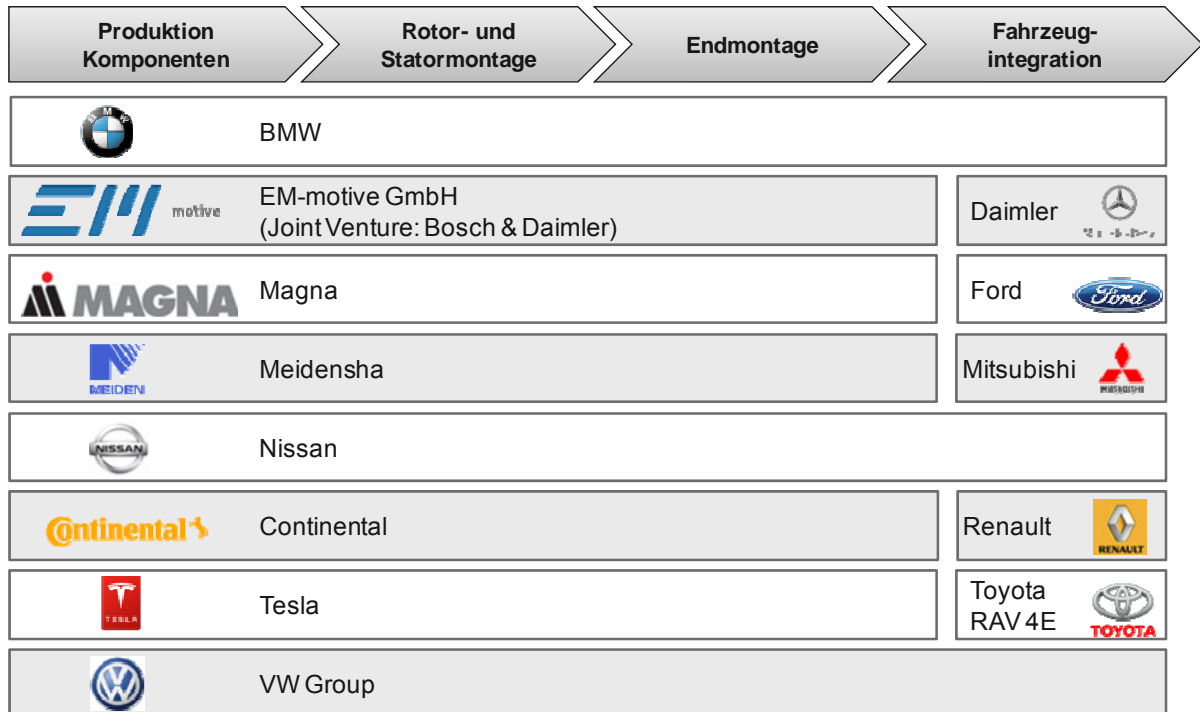


Abb. 5-5: Spektrum der derzeitigen Wertschöpfungsstrategien (Elektromotoren)

Bei BMW und Volkswagen erfolgt die gesamte Entwicklung und Produktion der Elektromotoren für Elektrofahrzeuge in Serienstatus eigenständig. Dies umfasst die Produktionsprozesse der Komponenten, wie den Gießprozess des Gehäuses und den Wickelprozess, den anschließenden Zusammenbau von Rotor und Stator sowie die Endmontage. Die Fahrzeugintegration erfolgt in der Linienfertigung des Fahrzeugs. Eine weitere Möglichkeit ist der Fremdbezug des Elektromotors von Zulieferern, wobei unterschiedliche Intensitäten der Zusammenarbeit beobachtbar sind. Daimler entwickelt und produziert seine Elektromotoren in einem gemeinsamen Joint Venture mit Bosch, an dem beide Konzerne mit 50 % beteiligt sind. Bosch obliegt jedoch die Möglichkeit, die Motoren auch an andere Hersteller zu vertreiben. Ford führt gewisse Entwicklungsumfänge gemeinsam mit Magna durch, die Produktion der Motoren erfolgt hingegen komplett durch Magna. Darüber hinaus ist auch ein völliger Fremdbezug der Elektromotoren möglich. So bezieht Renault die Elektromotoren von Continental und lagert somit sowohl Produktion als auch Entwicklung aus.

Aus der aktuellen Wertschöpfungsverteilung im Bereich Elektromotoren lassen sich allerdings nur begrenzt Rückschlüsse auf die zukünftigen Wertschöpfungsstrategien der Fahrzeughersteller schließen. Insbesondere in der Anfangsphase neuer Technologien ist allgemein ein hoher Integrationsgrad der Wertschöpfung zu beobachten, da zunächst auch intern Erfahrungen und Know-How mit neuen Technologien aufgebaut werden müssen. Die zukünftigen



tige Wertschöpfungsverteilung hängt entscheidend davon ab, ob der Elektromotor von den Fahrzeugherstellern als markendifferenzierend bewertet wird. Zudem werden auch weitere Faktoren wie die Auslastung von vorhandenen Produktionskapazitäten die Wertschöpfungsentscheidungen der OEM beeinflussen.

### 5.2.2 Abbildung der Wertschöpfungskette für Batterien

Das Batteriesystem ist das zentrale Bauteil eines Elektrofahrzeuges. Keine andere Fahrzeugkomponente besitzt einen höheren Anteil an der Gesamtwertschöpfung. Zudem haben die Batterieeigenschaften wie Energiedichte, Lebensdauer und Kosten einen entscheidenden Einfluss auf die zukünftige Verbreitung von Elektrofahrzeugen. Demgegenüber steht allerdings das geringe Erfahrungswissen und Kompetenzniveau der etablierten Automobilhersteller und -zulieferer im Bereich der Batterieproduktion. Die Festlegung einer geeigneten Wertschöpfungsstrategie zählt daher zu den wesentlichen Aufgaben der Automobilhersteller.

In Analogie zu der Produktionsstruktur wurden die vier Wertschöpfungsstufen „Produktion von Komponenten“, „Produktion von Batteriezellen“, „Produktion von Batteriemodulen“ und „Produktion des Batteriepacks“ unterschieden. Die Produktion der Komponenten (Elektroden, Separator, Elektrolyt) erfolgt derzeit hauptsächlich durch Unternehmen der Chemieindustrie und hat einen Wertschöpfungsanteil von ca. 25 %. Dabei ist diese Wertschöpfungsstufe aktuell durch eine Oligopolstruktur charakterisiert. Die Produktion der Batteriezellen stellt dabei hinsichtlich des Wertschöpfungsumfangs die zentrale Wertschöpfungsstufe dar. Ungefähr 40 % der Gesamtwertschöpfung einer Batterie entfallen auf diese Stufe. Zukünftige Kostensenkungen können bei der Produktion der Batteriezellen vor allem durch die Optimierung der Produktionsprozesse sowie durch die Realisierung von Skaleneffekten erreicht werden. Derzeit sind auf dieser Wertschöpfungsstufe vor allem Batteriehersteller vertreten. Die anschließende Produktion des Batteriemoduls ist derzeit durch einen hohen Grad an manuellen Tätigkeiten geprägt, so dass die Lohnkosten und der Automatisierungsgrad wesentliche Einflussfaktoren für den Wertschöpfungsumfang dieser Stufe darstellen. Die Produktion des Batteriepacks umfasst mit ca. 6 % einen vergleichsweise geringen Anteil an der Gesamtwertschöpfung. Dabei wird diese Wertschöpfungsstufe derzeit vor allem durch die Fahrzeughersteller und die Zulieferer abgedeckt, die ihre Batteriemodule aus Kooperationen mit Batterieherstellern beziehen, vgl. Abb. 5-6. [ROB11, BCG10]

Insbesondere durch eine Massenproduktion von Batteriesystemen können zukünftig Kostensenkungspotenziale erschlossen werden. Insgesamt hängen ca. 75 % der gesamten Batteriekosten von der Produktionsmenge ab. Aufgrund von Erfahrungskurven- und Skaleneffekten können diese Kosten bei einer Massenproduktion deutlich reduziert werden. Durch ein hohes Produktionsvolumen können zudem weitere Vorteile realisiert werden. So werden z. B. durch eine automatisierte Produktion ein höheres Qualitätsniveau und ein geringerer Ausschuss erreicht. Gleichzeitig können Abschreibungen für Anlagen und Entwicklungsaufwendungen auf eine größere Stückzahl umgelegt werden.

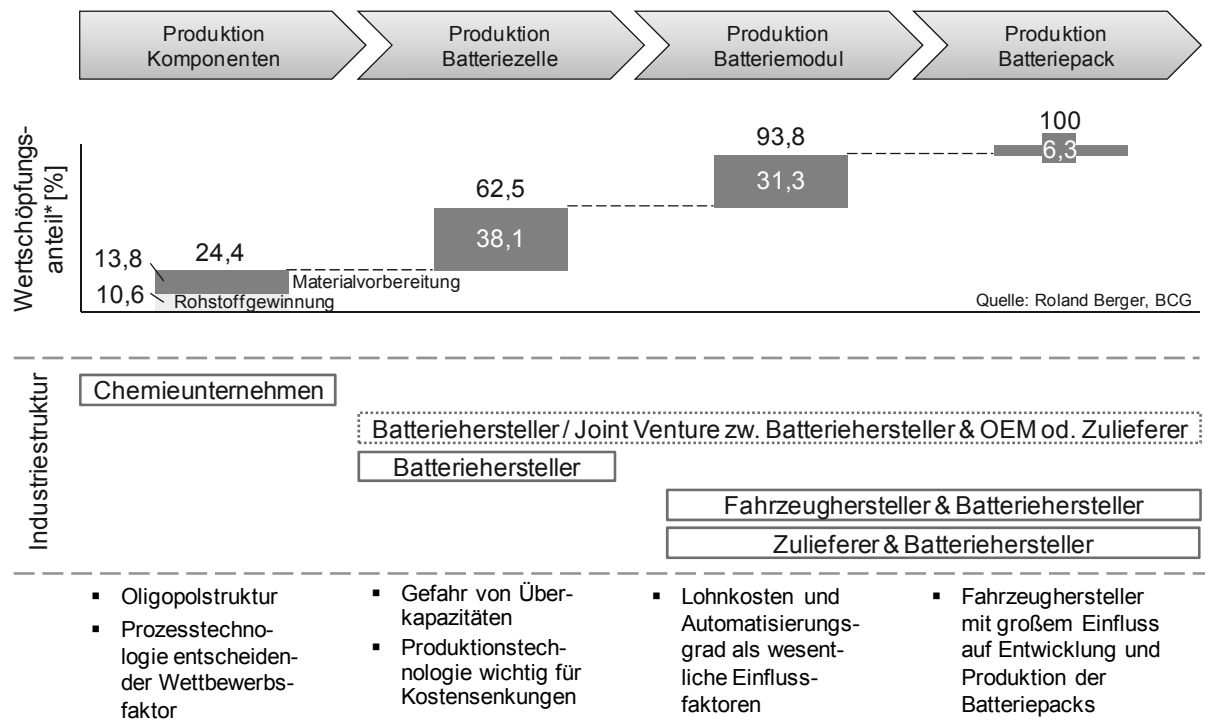
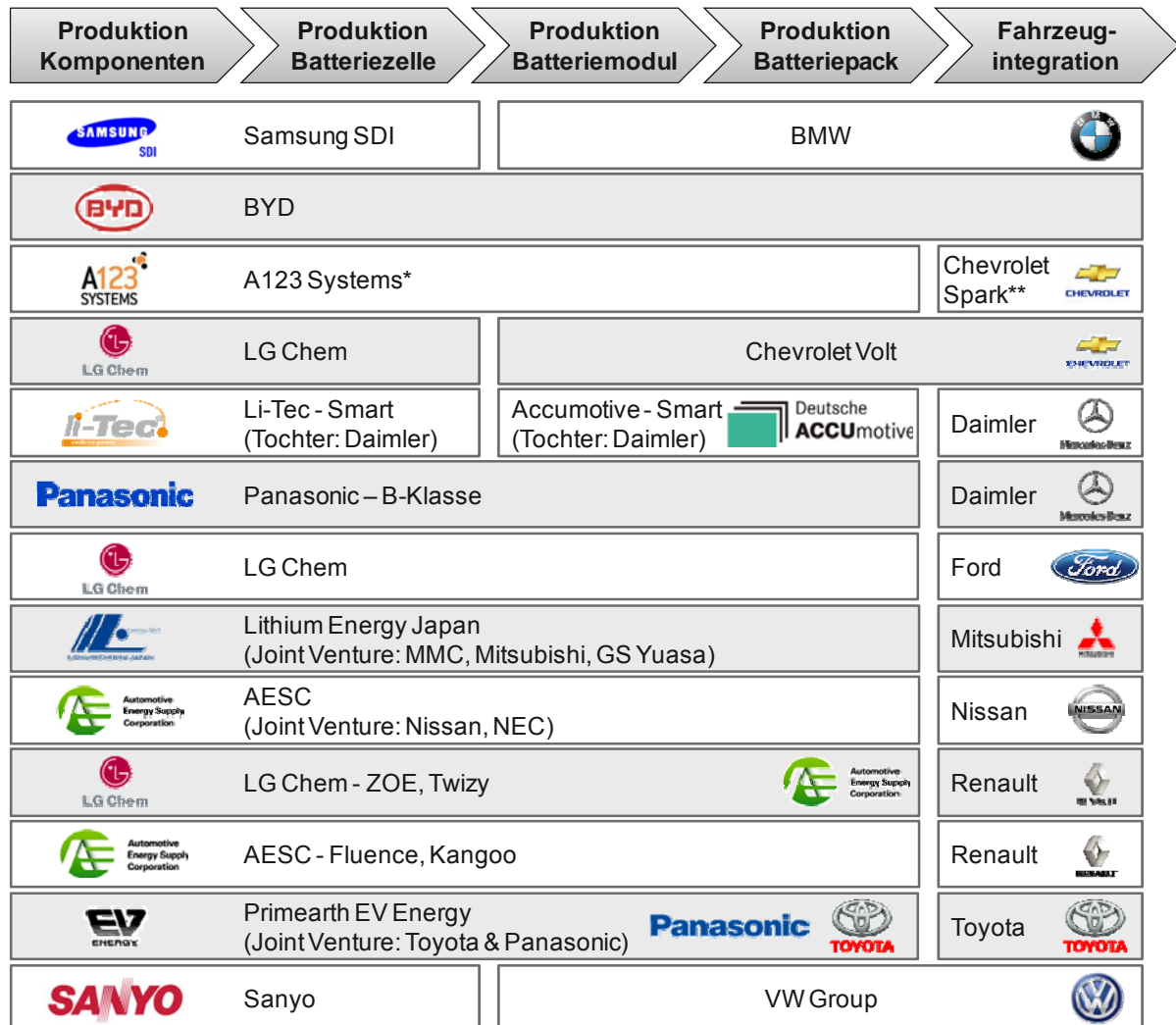


Abb. 5-6: Wertschöpfungskette für die Schlüsselkomponente Batterie [ROB11, BCG10]

Derzeit verfolgen die Akteure der Automobilindustrie unterschiedliche Wertschöpfungsansätze im Bereich der Batterien für Elektrofahrzeuge. Das Spektrum der derzeitigen Wertschöpfungsstrategien zeigt Abb. 5-7. Allerdings verwenden die Automobilhersteller für verschiedene Fahrzeuge teilweise auch unterschiedliche Zulieferer und Wertschöpfungsaufteilungen.

Die Wertschöpfungsstufe der Fahrzeugintegration wird von allen OEM selbst erbracht. Neben dem eigentlichen Einbau der Batterie bei der Fahrzeugendmontage müssen dazu im Rahmen der Serienentwicklung unter anderem auch die Spezifikationen des Batteriesystems sowie die Schnittstellen zum Fahrzeug festgelegt werden. Für die Produktion des Batteriesystems können grundsätzlich zwei Wertschöpfungsansätze unterschieden werden. So kann ein Automobilhersteller entweder das komplette Batteriesystem von einem unabhängigen Zulieferer beziehen oder selber Wertschöpfungsstufen der Batterieproduktion besetzen. Im ersten Fall besteht die Option, dass ein traditioneller „Tier 1“-Zulieferer sich über Joint Ventures und Firmenakquisitionen das notwendige Know-how aneignet und gegenüber dem OEM wie bisher als Systemzulieferer auftritt. Diese Strategie verfolgte bislang z. B. der Zulieferer Bosch, der mit dem Batterieproduzenten Samsung SDI das Joint Venture SB LiMotive gegründet hat. Dieses Joint Venture wurde allerdings im September 2012 aufgelöst. Darüber hinaus versuchen auch einige Batteriehersteller, sich als Systemzulieferer gegenüber dem OEM zu etablieren. Als Beispiel dafür kann das koreanische Unternehmen LG Chem angeführt werden, das über seine Tochtergesellschaft Compact Power Inc. (CPI) die Batterien für den Ford Focus BEV zuliefert.



\* Insolvenz im Jahr 2012, Kauf durch Wanxiang Group im Jahr 2013

\*\* ab Modelljahr 2015 mit Batteriezellen von LG Chem

Abb. 5-7: Spektrum der derzeitigen Wertschöpfungsstrategien (Batterien)

Die meisten Automobilhersteller verfolgen derzeit allerdings die Strategie, bestimmte Wertschöpfungsumfänge der Batterieproduktion selber oder in Joint Ventures mit Batterieherstellern zu erbringen. Ein Beispiel dafür ist das bereits seit dem Jahr 1996 bestehende Joint Venture „Primearth EV Energy“ zwischen Toyota und Panasonic, an dem Toyota mittlerweile einen Anteil von 80,5 % hält. Von diesem Joint Venture werden die Wertschöpfungsstufen bis zur Produktion der Batteriezellen abgedeckt. Einen ähnlichen Ansatz verfolgte Daimler, der zur Produktion der Batteriemodule und des Batteriesystems ein Joint Venture mit Evonik eingegangen ist. Zudem hatte Daimler einen Anteil an dem von Evonik gegründeten Batteriezellproduzenten LiTec übernommen. Seit April 2014 ist Daimler alleiniger Eigentümer der Unternehmen LiTec und Deutsche ACCUmotive.

Als Alternative zur Gründung von Gemeinschaftsunternehmen können Wertschöpfungsumfänge auch ausschließlich durch einen Automobilhersteller abgedeckt werden. So bezieht GM lediglich die Batteriezellen für sein PHEV „Chevrolet Volt“ von dem koreanischen

Batteriehersteller LG Chem. Die Produktion der Batteriemodule sowie die Montage des Batteriesystems erfolgt innerhalb einer eigens dafür errichteten Produktionsstätte. Ein Beispiel für eine hohe Wertschöpfungstiefe im Bereich der Batterieproduktion ist der chinesische Automobilhersteller BYD Auto, der aufgrund seiner Zugehörigkeit zum Batteriehersteller BYD alle Wertschöpfungsstufen intern abdeckt.

Trotz der unterschiedlichen Wertschöpfungsansätze im Bereich der Batterieproduktion ist bei den Automobilherstellern insgesamt die Tendenz zu erkennen, Wertschöpfungsumfänge durch Kooperationen und Joint Ventures abzudecken. Dadurch beabsichtigen die OEM den Aufbau eigener Kompetenzen sowie die Entwicklung eines Verständnisses für die grundsätzlichen Systemzusammenhänge. Allgemein ist eine hohe Wertschöpfungsintegration in der Anfangsphase vieler neuer Technologien festzustellen. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass ein Technologie- und Prozessverständnis benötigt wird, um die wettbewerbsstrategischen Aktivitäten zu identifizieren und darauf aufbauend Make-or-Buy-Entscheidungen treffen zu können. In einem späteren Stadium des Technologielebenszyklus sind daher oft Veränderungen bei den Wertschöpfungsstrategien zu beobachten.

Eine entsprechende Entwicklung wird ebenfalls für den Bereich der Fahrzeugbatterien prognostiziert. Neben dem Wissenserwerb bietet eine eigene Batterieproduktion den Vorteil, dass die Batterien exklusiv vom Automobilhersteller eingesetzt und so als Differenzierungsmerkmal im Wettbewerb genutzt werden können. Diese Möglichkeit besteht insbesondere zu Beginn, wenn verschiedene Batteriezelltechnologien mit unterschiedlichen Leistungscharakteristika nebeneinander existieren. Auf der anderen Seite verringern die Kooperationen und Joint Ventures mit Batteriezellproduzenten allerdings den Handlungsspielraum der OEM für den Fall, dass andere Zellhersteller eine bessere Technologie auf den Markt bringen. Unter der Annahme, dass sich langfristig eine dominante Batteriezelltechnologie herauskristallisiert, ist mit einer Angleichung der technischen Eigenschaften der Fahrzeugbatterien zu rechnen. Dadurch wird auch die Bedeutung der Batterien als Differenzierungsmerkmal für den Fahrzeughersteller abnehmen. Einen weiteren entscheidenden Treiber für den Fremdbezug der Traktionsbatterien stellen die beschriebenen Kostenvorteile bei einer hohen Produktionszahl dar. Unabhängige Automobilzulieferer können diese Vorteile durch die Belieferung mehrerer Automobilhersteller am ehesten umsetzen. Bei OEM, die auch als Batteriezulieferer am Markt auftreten, besteht das Problem, dass sie gleichzeitig in einem Konkurrenzverhältnis zu ihren potenziellen Abnehmern stehen.

### **5.2.3 Abbildung der Wertschöpfungskette für Leistungselektronik**

Die Wertschöpfungskette der Leistungselektronik kann in die Stufen „Produktion der Komponenten“, „Produktion des Leistungsmoduls“, „Produktion der Steuerungselektronik“ und „Produktion des Gehäuses und Endmontage“ unterteilt werden, vgl. Abb. 5-8. Den größten Anteil an der gesamten Wertschöpfung nimmt mit ca. 30 % die Produktion des Leistungsmoduls ein. Die Herstellung der Komponenten wie Spulen und Kondensatoren sowie der Steuerungselektronik tragen jeweils mit knapp 20 % zur Gesamtwertschöpfung bei. Auf die Pro-

duktion des Gehäuses inklusive Kühlung entfällt ca. 13 % der Wertschöpfung, auf die Endmontage der Leistungselektronik ca. 20 %.

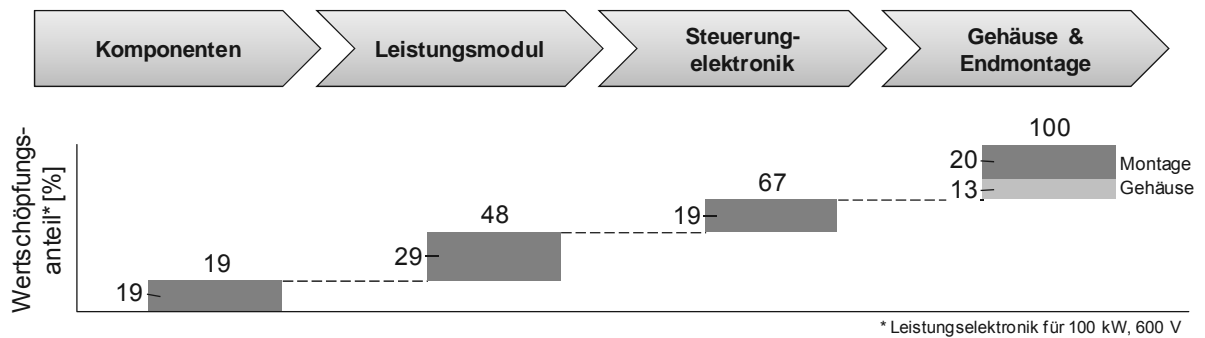


Abb. 5-8: Wertschöpfungskette für die Schlüsselkomponente Leistungselektronik [KAM14]

Bei den Wertschöpfungsstrategien der Hersteller ist zwischen Fremdbezug und eigener Entwicklung und Produktion zu unterscheiden, vgl. Abb. 5-9.

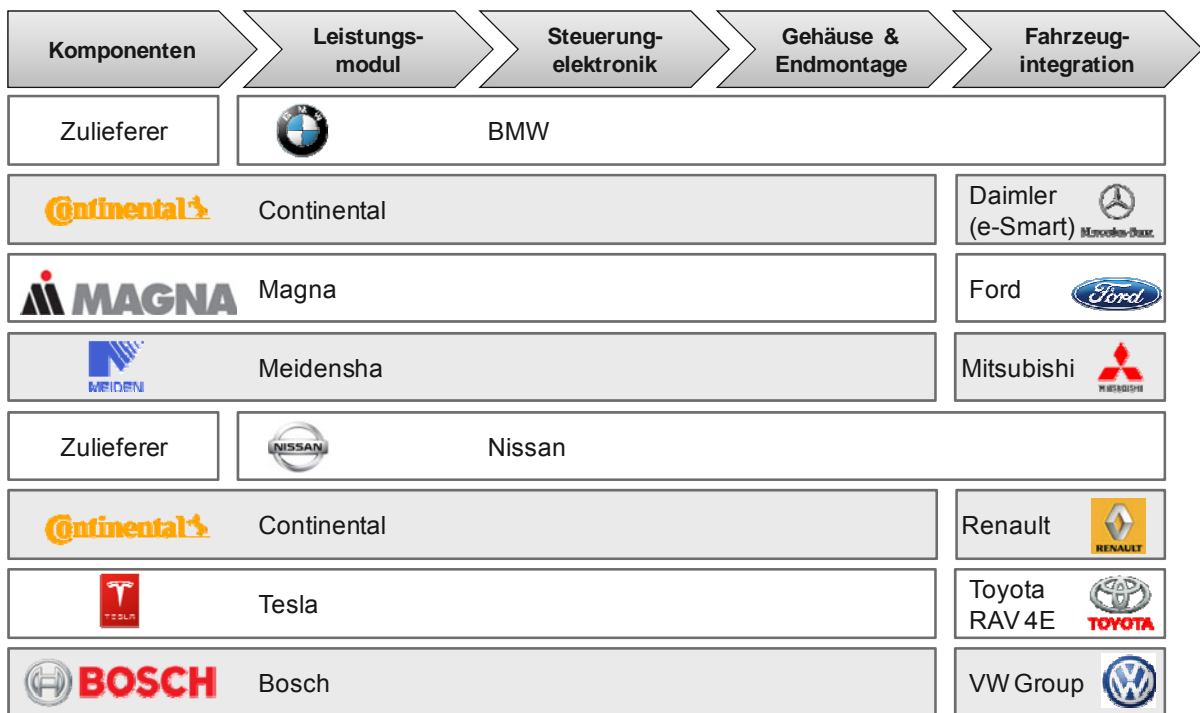


Abb. 5-9: Spektrum der derzeitigen Wertschöpfungsstrategien (Leistungselektronik)

So entwickelt und produziert BMW die Leistungselektronik, ebenso wie den Elektromotor, mit Ausnahme von einigen Einzelkomponenten vollständig in Eigenregie. Andere Hersteller wie Ford, Mitsubishi und Renault beziehen die Leistungselektronik von dem Zulieferer ihrer Elektromotoren. Dies bietet sich an, da beide Komponenten so hinsichtlich Package und Software optimal aufeinander abgestimmt und als eine Montageeinheit geliefert werden können. Zudem existieren Automobilhersteller wie VW und Daimler, die die

Leistungselektronik eines Zulieferers einsetzen, der nicht in die Produktion der Motoren eingebunden ist. Dabei wird insbesondere auf etablierte Systemzulieferer wie Bosch oder Continental zurückgegriffen, die bereits über umfangreiche Erfahrungen mit Elektronik im Automobilbereich verfügen.

### 5.3 Prognose der resultierenden Wertschöpfungsverschiebungen

Abb. 5-10 zeigt die methodische Vorgehensweise zur Prognose der Wertschöpfungs- und der Nachfrageverschiebungen durch Elektrofahrzeuge. Anhand eines Vergleichs der in AP 1 identifizierten Wertschöpfungskette konventioneller Fahrzeuge mit der in AP 3 ermittelten Wertschöpfungskette von Elektrofahrzeugen wurden zunächst die durch Elektrofahrzeuge resultierenden Wertschöpfungsveränderungen untersucht. Grundlage dieses Vergleichs bildet eine Übersicht entfallender und veränderter Fahrzeugkomponenten, vgl. Kapitel 5.1. Für eine Quantifizierung der Wertschöpfungsverschiebungen wurden dabei verschiedenen Studien hinsichtlich der Komponentenkosten von konventionellen und elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ausgewertet.



Abb. 5-10: Methodische Vorgehensweise zur Prognose der Wertschöpfungsverschiebungen

In einem nächsten Schritt wurden die durch die Verbreitung von Elektrofahrzeugen resultierenden Nachfrageverschiebungen bei den Fahrzeugkomponenten analysiert. Dazu wurde zunächst die Marktentwicklung von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen bis zum Jahr 2025 prognostiziert. Zur Prognose der Marktentwicklung wurden verschiedene, öffentlich verfügbare Studien berücksichtigt und validiert. Ausgehend von der zukünftigen Marktentwicklung und den vorher identifizierten Veränderungen der Wertschöpfungsstruktur, können an-

schließlich die für die einzelnen Fahrzeugkomponenten resultierenden Nachfrageverschiebungen abgeschätzt werden.

### **5.3.1 Veränderungen der Wertschöpfung durch Elektrofahrzeuge**

Die Zielsetzung dieses Arbeitspunktes bestand darin, die durch die Elektromobilität resultierenden Wertschöpfungsveränderungen zu quantifizieren. Zur Identifikation des Wertschöpfungsumfanges der einzelnen Fahrzeugsysteme und -module wurden zunächst verschiedene Studien und Veröffentlichungen ausgewertet. Da die existierenden Veröffentlichungen in der Regel die Herstellungskosten der Komponenten abbilden, wurden die Wertschöpfungsumfänge näherungsweise anhand der Herstellungskosten bestimmt. Grundsätzlich müssen dabei sowohl die Kosten der für BEVs erforderlichen zusätzlichen Komponenten als auch die Kosten der im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen entfallenden oder veränderten Komponenten und Systeme berücksichtigt werden.

Auf dieser Grundlage wurde in einem nächsten Schritt die aktuelle und zukünftige Wertschöpfung für ein elektrisch angetriebenes Referenzfahrzeug der Mittelklasse ermittelt. Dabei wurden im Sinne einer Differenzbetrachtung nur diejenigen Systeme und Module im Wertschöpfungsmodell berücksichtigt, die im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug neu hinzukommen bzw. signifikant verändert werden. Dazu zählen die Traktionsbatterie, die Leistungselektronik, der Elektromotor, das Thermomanagementsystem, das Getriebe sowie das Bordnetz. Zudem wurde der Wertschöpfungsumfang der entfallenden Systeme und Module (Verbrennungsmotor, Kraftstoffsystem, Abgassystem und Nebenaggregate) abgebildet. Darauf aufbauend wurde durch eine Gegenüberstellung der Wertschöpfungsumfänge die durchschnittliche Veränderung der Wertschöpfung für ein Elektrofahrzeug ermittelt.

#### **5.3.1.1 Kostenprognose entfallender und veränderter Fahrzeugkomponenten**

Im Vergleich zu einem verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeug der Mittelklasse entfallen bei einem BEV der Verbrennungsmotor mitsamt seinen Nebenaggregaten, sowie das Kraftstoff- und das Abgassystem, vgl. Kapitel 5.1. Zum Verbrennungsmotor zählen der Grundmotor, das Kühlsystem und die Motorsteuerung. Bei einem mit elektrischem Antriebsstrang ausgestatteten Fahrzeug entfallen dadurch Herstellkosten in Höhe von ca. 1.500 Euro. Die Kosten für die ebenfalls nicht benötigten Nebenaggregate wie Pumpen, Lichtmaschine und konzeptabhängig auch Turbolader betragen ca. 120 Euro. Das Kraftstoffsystem besteht aus dem Kraftstofftank, diversen Leitungen, Pumpen und Filtern sowie der Einspritzanlage. Die Gesamtherstellkosten beziffern sich auf ca. 70 Euro. Auf der Auslassseite des Motors resultieren durch den Wegfall der zum Abgassystem gehörenden Filter, Sensoren, Leitungen und Abgasrückführung Kosteneinsparungen in Höhe von ca. 240 Euro. Insgesamt resultieren bei BEVs aufgrund der entfallenden konventionellen Antriebsstrangkomponenten Einsparungen der Herstellkosten von insgesamt knapp 2.000 Euro.

Weitere Veränderungen der Herstellkosten ergeben sich durch Komponenten, die im Elektrofahrzeug in abgewandelter Form benötigt werden. So ist mit Einsparungen bei Getriebe- und Kupplungselementen und zusätzlichen Ausgaben im Bereich Bordnetz und Thermomanage-

ment zu rechnen. Ein mehrgängiges Getriebe wie bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren wird bei Elektrofahrzeugen aufgrund der Elastizität des Elektromotors nicht mehr benötigt. Oftmals findet lediglich ein einstufiges Getriebe mit konstanter Übersetzung Verwendung. Durch geringere Material- und Fertigungskosten wird eine Einsparung der Herstellkosten von durchschnittlich ca. 570 Euro bei Getrieben angenommen. Langfristig ist allerdings auch bei Elektrofahrzeugen der Einsatz von Mehrganggetrieben möglich, wodurch der Gesamtwirkungsgrad des Antriebsstrangs gesteigert werden kann [FIS12].

Bei Elektrofahrzeugen ist neben dem 12-Volt-Bordnetz ein Hochvoltbordnetz mit Nennspannungen im Bereich von mehreren hundert Volt notwendig, um die Leistungsversorgung des Elektromotors sicherzustellen. Der durch die hohe Stromstärke bedingte größere Leitungsquerschnitt, sowie zusätzliche Sicherungen und Verbindungen verursachen zusätzliche Herstellkosten von ca. 150 Euro. Das Thermomanagement von Elektrofahrzeugen ist im Vergleich zu dem von konventionell angetriebenen Fahrzeugen komplexer. Zusätzlich zur Kühlung des Motors ist bei Elektrofahrzeugen eine Klimatisierung der Traktionsbatterie notwendig, da die ideale Arbeitstemperatur von Lithium-Ionen-Batterien im Bereich von etwa 40 °C liegt und somit nach einem Start bei niedrigen Außentemperaturen ein Aufheizen und während des Betriebs eine Kühlung erforderlich ist [ISE10]. Da die Abwärme des Elektromotors deutlich unter der eines Verbrennungsmotors liegt, ist zudem eine elektrische Zusatzheizung erforderlich. Der daraus resultierende Zuwachs der Herstellkosten des Kühlsystems beträgt aktuell ca. 115 Euro. Durch eine höhere Komplexität des Kühlsystems bei zukünftigen Elektrofahrzeugen wird bis zum Jahr 2025 mit einem weiteren Anstieg um ca. 85 Euro gerechnet.

### 5.3.1.2 Kostenprognose zusätzlicher Fahrzeugkomponenten

Die Herstellkosten eines Elektrofahrzeugs werden maßgeblich durch die neu hinzukommenden Fahrzeugsysteme bestimmt. Dazu zählen die Hochvoltbatterie, der Elektromotor und die Leistungselektronik.

Die als Lithium-Ionen-Batterie ausgeführte Hochvoltbatterie stellt bei der Produktion aktueller Elektrofahrzeuge den größten Kostenfaktor dar und bestimmt somit maßgeblich den Verkaufspreis. Dabei wird der größte Anteil an den Herstellungskosten mit knapp 50 % der Gesamtkosten durch die Fertigung der Batteriezellen verursacht [SCH11]. Die in verschiedenen Studien ermittelten Prognosen der Herstellkosten der Hochvoltbatterie sind in Abb. 5-11 dargestellt, wobei jeder Punkt die prognostizierten Batteriekosten zu einem bestimmten Zeitpunkt beschreibt. Zwischen den Studien sind teilweise große Kostenunterschiede festzustellen. Diese resultieren u. a. daraus, dass den Prognosen jeweils Einflussparameter wie die Entwicklung der Kraftstoff- und Strompreise und folglich die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen zugrunde gelegt werden. In einigen Studien wird zudem zwischen verschiedenen Szenarien unterschieden. Des Weiteren ist eine Abnahme der prognostizierten Kosten mit der Zeit festzustellen. So nehmen aktuelle Studien deutlich geringere Batteriekosten und einen früheren Preisverfall der Batterien an als ältere Studien.



In den vergangenen Jahren hat ein bis zum heutigen Zeitpunkt anhaltender starker Preisfall der Batterie stattgefunden. Die aktuell abgeschätzten Herstellkosten liegen bei 450 Euro pro Kilowattstunde Batteriekapazität. Dies lässt sich hauptsächlich auf die Entstehung neuer Fabriken mit höheren Produktionskapazitäten und verbesserten Prozessen und die damit einhergehenden Skaleneffekte sowie die gesteigerte Effizienz der Produktion zurückführen. Ein weiterer wesentlicher Faktor sind die durch steigenden Wettbewerbsdruck sinkenden Komponentenpreise [HEN12]. Zudem versuchen japanische und koreanische Hersteller aktuell über günstige Preise eine Marktdominanz herbeizuführen [SAU13]. Aus technischer Sicht verursachen steigende Zellkapazitäten sinkende Herstellkosten bei gleichbleibender Gesamtkapazität des Batteriepacks. In den kommenden Jahren wird der Preisfall bei Batterien jedoch deutlich abnehmen. So ist mit lediglich geringfügigen Steigerungen der Energiedichte und einer nachlassenden Wirkung von Skaleneffekten zu rechnen [SAU13]. Der aktuell niedrige Anteil der Materialkosten an den Herstellkosten und die hohen Ausschussraten von 30–60 % in der Zellfertigung lassen jedoch vermuten, dass der Produktionsprozess noch nicht ausgereift und eine weitere Optimierung möglich ist [BEE10]. Auch durch eine mögliche Standortverlagerung in Niedriglohnländer kann eine weitere Kostensenkung realisiert werden. Dem entgegen wirkt langfristig der Anstieg der Preise der Rohmaterialien wie Stahl und Aluminium, die aufgrund des steigenden Kostenanteils zunehmend kostentreibend wirken. Langfristig ist mit einer Marktkonsolidierung und einer damit einhergehenden Stabilisierung der Batteriepreise zu rechnen [SAU13]. Ausgehend von den zugrunde liegenden Studien werden für das Jahr 2025 Batterieherstellkosten von knapp 200 Euro pro Kilowattstunde prognostiziert.

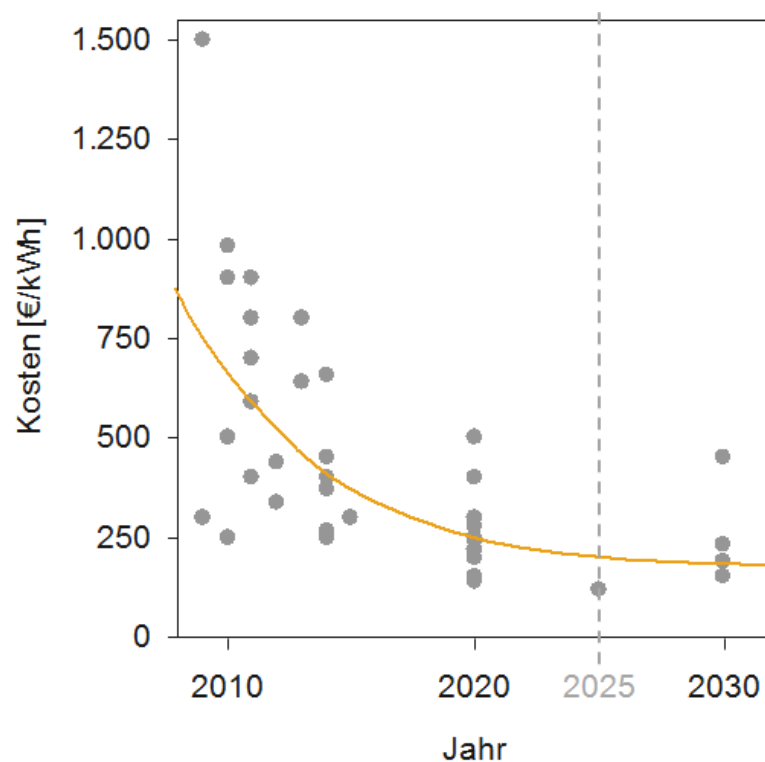


Abb. 5-11: Kostenprognose Lithium-Ionen-Batterie

Die Herstellkosten des Elektromotors hängen maßgeblich von der Leistungsklasse des Fahrzeugs und damit des Motors ab und können in Lohn-, Fertigungs- und Materialkosten aufgeteilt werden. Die Höhe der Lohn- und Fertigungskosten wird maßgeblich durch die während der Montageprozesse entstehenden Kosten bestimmt. Mit steigender Motorleistung nimmt der Anteil der Materialkosten an den Gesamtkosten deutlich zu. Bei den in Elektrofahrzeugen eingesetzten Motoren höherer Leistungsklassen verursachen die Materialkosten einen Anteil von über 50 % der Herstellkosten [EPA11a, EPA11b]. Vergleicht man die in der Literatur veröffentlichten Abschätzungen zur künftigen Preisentwicklung lässt sich bis 2030 eine nahezu kontinuierliche, nur leicht abnehmende Reduktion des Preisniveaus feststellen, siehe Abb. 5-12. So werden die Kosten für einen Elektromotor aktuell auf 16 Euro und für 2025 auf 10 Euro pro Kilowatt geschätzt.

Die abnehmenden Herstellkosten lassen sich hauptsächlich auf die durch die zunehmende Elektrifizierung von Antriebssträngen verursachten Skaleneffekte zurückführen. Neue Produktionstechnologien sowie eine zunehmende Automatisierung tragen ebenfalls zu einem Preisfall bei. So gibt es besonders bei der Wicklung der Spulen und der Montageprozess Optimierungsbedarf. Mit Hilfe neuer Wickelverfahren lassen sich der Füllfaktor und die Leistungsdichte steigern, wodurch wiederum Materialkosten eingespart werden können [SCH11, SPA12]. Dies ist insbesondere im Hinblick auf steigende Kosten für die benötigten Mengen an Kupfer, Aluminium und seltenen Erden entscheidend, um eine weitere Kostensenkung realisieren zu können.

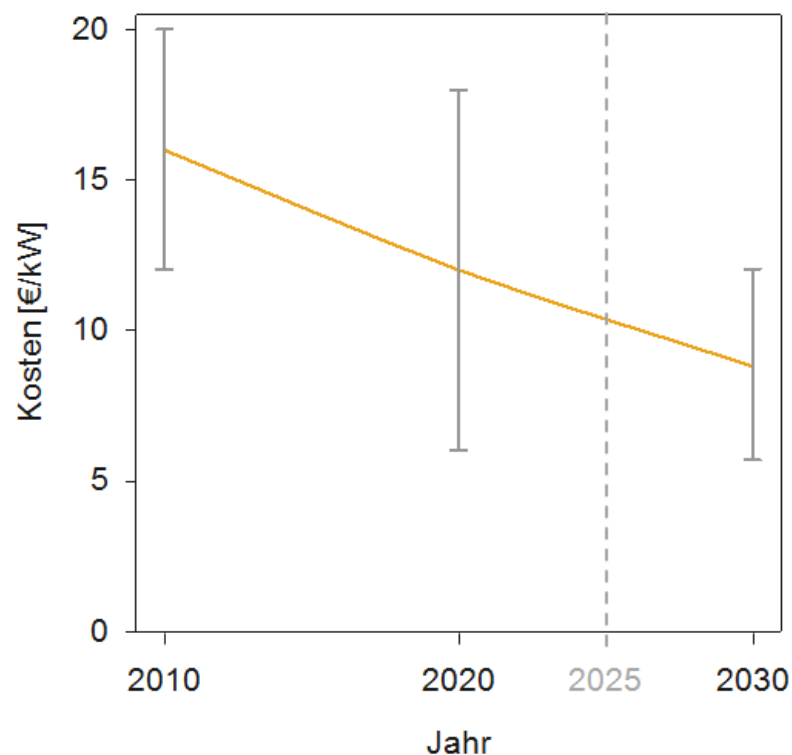


Abb. 5-12: Kostenprognose Elektromotor

Die Herstellungskosten der Leistungselektronik steigen mit zunehmender Motorleistung und liegen leicht unterhalb der Kosten des Elektromotors. Im Gegensatz zum Elektromotor machen die Fertigungskosten der Leistungselektronik mit 10 % einen vergleichsweise geringen Anteil an den Gesamtkosten aus. Die restlichen Kosten werden durch die Produktion der Einzelkomponenten verursacht [CUE99]. In der Literatur finden sich nur wenige Prognosen zur zukünftigen Herstellkostenentwicklung der Leistungselektronik. Dabei werden hauptsächlich Kostenziele angegeben, die teilweise sehr niedrig und nicht zwingend realisierbar scheinen. Eine Prognose der Kostenentwicklung ist in Abb. 5-13 dargestellt.

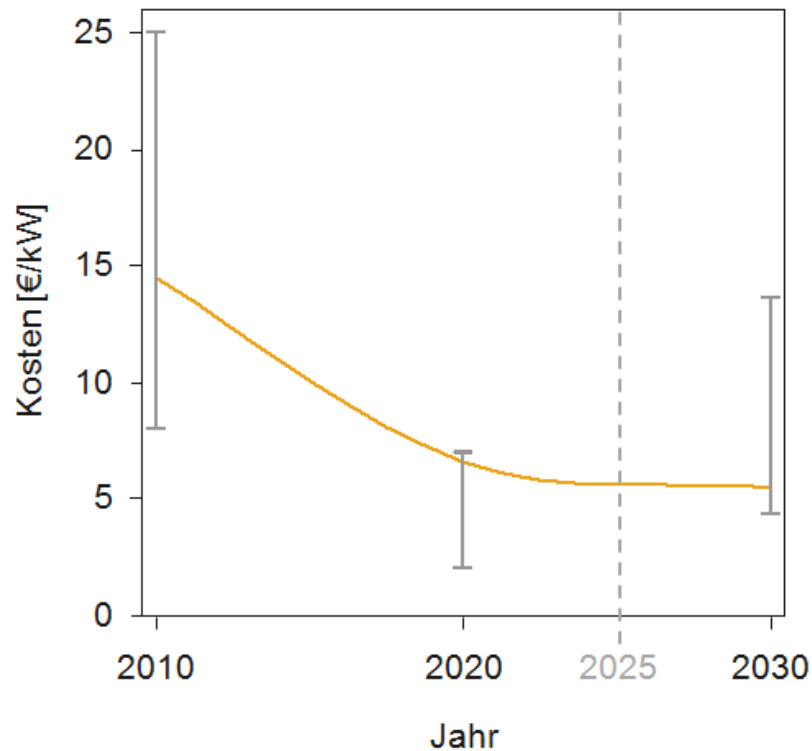


Abb. 5-13: Kostenprognose Leistungselektronik

In den kommenden Jahren werden die aufgrund des zunehmenden Wettbewerbsdrucks sinkenden Komponentenkosten einen Preisfall des Gesamtmoduls bewirken. Aktuell werden die Kosten der Leistungselektronik auf etwa zehn Euro pro Kilowatt abgeschätzt. Auch hier stellen Skaleneffekte einen entscheidenden Faktor des Preisfalls dar. Zudem sind die Bearbeitungstechnologien der verwendeten Halbleitertechnologien derzeit noch nicht ausgereift und bieten weitere Optimierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten [SPA12]. Langfristig ist jedoch mit einer Stabilisierung der Kosten der Leistungselektronik auf einem niedrigen Niveau zu rechnen, so dass die Herstellkosten für das Jahr 2025 mit sechs Euro pro Kilowatt angenommen werden.

### 5.3.1.3 Quantitative Wertschöpfungsveränderungen durch Elektrofahrzeuge

Auf der Grundlage der in den vorhergehenden Abschnitten dargestellten Kostenprognosen der bei Elektrofahrzeugen entfallenden, veränderten und neu hinzukommenden Fahrzeug-

komponenten wird im Folgenden eine quantitative Abschätzung der resultierenden Wertschöpfungsveränderungen vorgenommen. Die Veränderungen der Wertschöpfung wurden exemplarisch für ein durchschnittliches Fahrzeug der Kompaktklasse quantifiziert. Für das zugrunde liegende Elektrofahrzeug wurde eine Batteriekapazität von 24 kWh und eine Motorleistung von 80 kW angenommen. Die resultierenden Wertschöpfungsveränderungen je Fahrzeug sind in Abb. 5-14 zusammengefasst.

Insgesamt wird aktuell ein durchschnittlicher Wertschöpfungszuwachs von 10.650 € je Elektrofahrzeug abgeschätzt. Für das Referenzjahr 2025 wird ein geringerer Wertschöpfungszuwachs von 4.100 € prognostiziert. Der größte Wertschöpfungszuwachs gegenüber konventionellen Fahrzeugen entsteht bei Batteriesystemen. Aktuell beträgt der Wertschöpfungsumfang einer Lithium-Ionen-Batterie mit einer Kapazität von 24 kWh ca. 10.800 €. Bis zum Jahr 2025 wird aufgrund technologischer Weiterentwicklungen, optimierten Produktionsprozessen sowie der Abhängigkeit der Kosten von den Produktionszahlen mit einem deutlichen Rückgang des Wertschöpfungsumfanges gerechnet. Auf der Grundlage der in Kap. 5.3.1.3 für das Jahr 2025 prognostizierten Batteriekosten von 200 €/kWh wird eine Abnahme der durchschnittlichen Wertschöpfung auf ca. 4.800 € abgeschätzt.

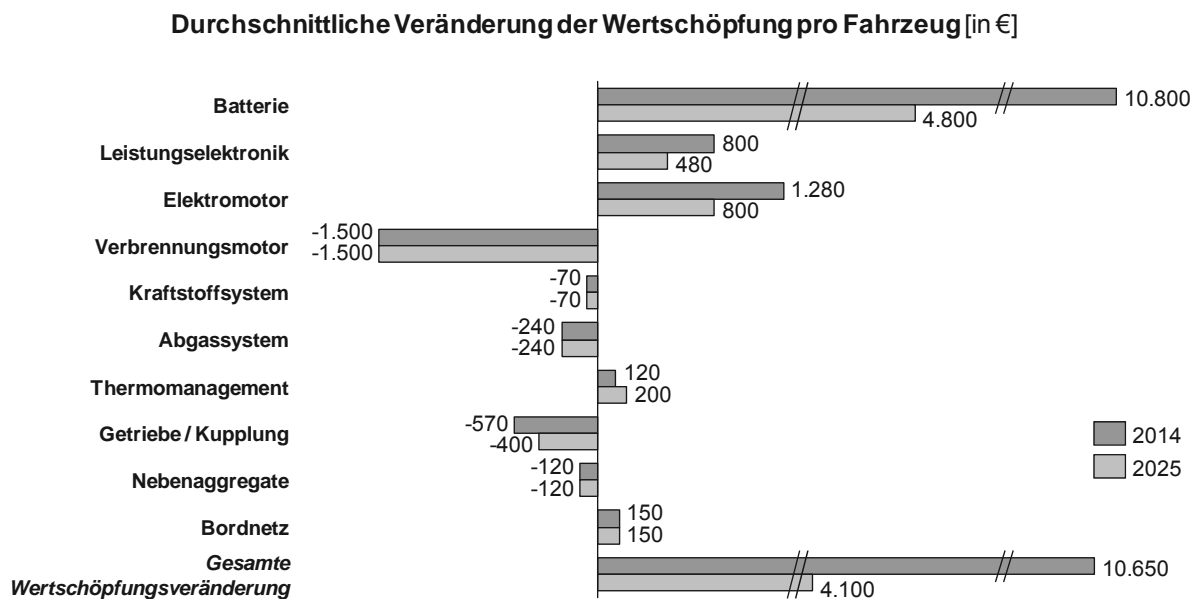


Abb. 5-14: Wertschöpfungsveränderungen durch Elektrofahrzeuge

Ein weiterer wesentlicher Wertschöpfungsumfang entfällt derzeit auf den Elektromotor, dessen Herstellungskosten im Modell mit 1.280 € berücksichtigt werden. Aufgrund technologischer Fortschritte durch intensive Entwicklungsaktivitäten von OEM und Zulieferern sowie steigender Produktionszahlen und damit einhergehender Skaleneffekte ist zukünftig mit deutlich verringerten Kosten zu rechnen. Der entsprechende Rückgang der Wertschöpfung wird im Modell mit ca. 40 % auf 800 € bis zum Jahr 2025 angenommen. Durch den Elektromotor entfällt bei batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen der Verbrennungsmotor, dessen Wertschöpfungsumfang im Modell entsprechend als entfallend berücksichtigt wurde. Aufgrund

verstärkter Entwicklungsaktivitäten im Bereich der Effizienzsteigerung einerseits, sowie permanenter Kostenreduzierungen seitens der Automobilhersteller und -zulieferer andererseits, wird für den konventionellen Verbrennungsmotor ein konstanter Wertschöpfungsumfang von 1.500 € bis zum Jahr 2025 angesetzt.

Ein weiterer wesentlicher Wertschöpfungsanteil von Elektrofahrzeugen entfällt auf die Leistungselektronik. Diese wird mit durchschnittlichen Herstellungskosten von derzeit ca. 800 € im Modell berücksichtigt. Bis zum Referenzjahr 2025 wird eine Verringerung der Kosten um ca. 40 % auf 480 € prognostiziert. Geringfügige Erhöhungen der Wertschöpfung gegenüber konventionellen Fahrzeugen werden zudem für das Bordnetz und das Thermomanagementsystem angenommen. Während dies beim Bordnetz auf die zusätzlich benötigte Hochvolt-Ebene zurückzuführen ist, wird beim Thermomanagementsystem der im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen steigende Umfang und die höhere Komplexität des Systems zu einer zunehmenden Wertschöpfung führen. Da für das Thermomanagement von Elektrofahrzeugen zukünftig neue Konzepte und Technologien zu erwarten sind, wird bis zum Jahr 2025 eine Zunahme des Wertschöpfungsumfangs um ca. 200 € ggü. konventionellen Fahrzeugen abgeschätzt. Ein Rückgang bzw. ein Entfall von Wertschöpfung wird hingegen bei den Komponenten des Kraftstoff- und Abgassystems, bei Getriebe und Kupplung sowie bei den Nebenaggregaten angenommen. Diese Komponenten entfallen bei Elektrofahrzeugen oder werden in vereinfachter Bauweise eingesetzt, so dass von deutlich verringerten Herstellungskosten ausgegangen werden kann.

### 5.3.2 Prognose der Marktentwicklung von Elektrofahrzeugen

In einem nächsten Schritt wurde die zukünftige Marktentwicklung für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge bis zum Referenzjahr 2025 untersucht. Ausgangspunkt bildet die Darstellung der derzeitigen Marktsituation in Deutschland und Europa. Insgesamt wurden als Durchschnittswert der letzten zehn Jahre in Deutschland 3,27 Mio. und in der EU 14,46 Mio. Personenkraftwagen neuzugelassen. Die Neuzulassungszahlen von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen sind demgegenüber bislang vernachlässigbar, vgl. Abb. 5-15. Für Nordrhein-Westfalen ergibt sich ein vergleichbares Bild. Insgesamt wurden im Jahr 2013 in NRW 561.074 Pkw-Neuzulassungen registriert, wobei 1.083 Elektro- und 5.629 Hybridfahrzeuge erstmalig zugelassen wurden. [KBA14]

Ausgehend von einem niedrigen Zulassungsniveau von Elektrofahrzeugen wurden in den vergangenen Jahren allerdings hohe Wachstumsraten realisiert. Einen wichtigen Einflussfaktor stellt dabei die Verfügbarkeit von elektrisch angetriebenen Fahrzeugmodellen dar. Aufgrund entsprechender Fahrzeugankündigungen der etablierten Hersteller für die kommenden zwei Jahre sind weiterhin hohe Marktwachstumsraten zu erwarten. Zur Prognose des zukünftigen Marktvolumens von Elektrofahrzeugen wurden verschiedene, öffentlich verfügbare, Marktstudien untersucht und ausgewertet. Dazu wurden zunächst die in Studien prognostizierten Zulassungszahlen und Marktanteile sowie die zugrunde liegenden Annahmen gegenübergestellt. Auf dieser Grundlage wurden die Prognosewerte drei Marktentwicklungsszenarien (optimistisches Szenario, pessimistisches Szenario, Referenzszenario) zugeordnet.

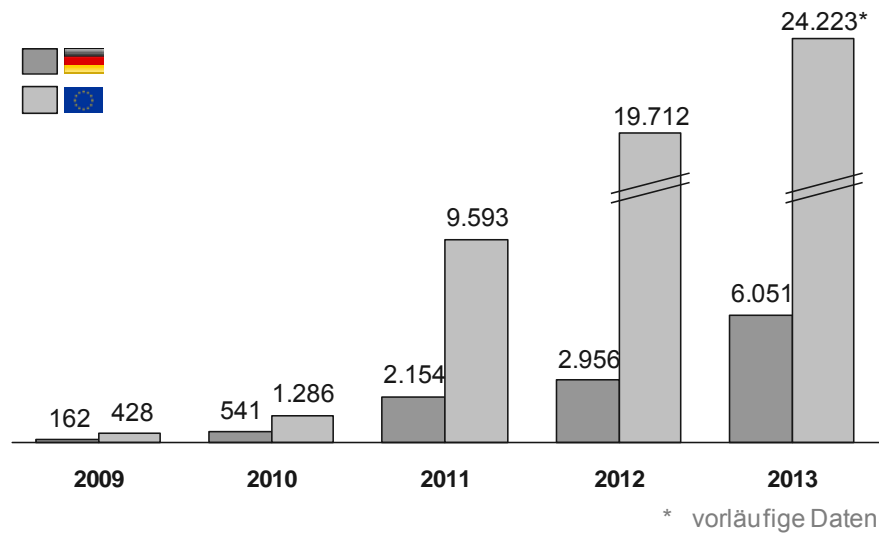


Abb. 5-15: Neuzulassungen batteriebetriebener Elektrofahrzeuge [KBA14, ICT14a, EEA14]

Abb. 5-16 zeigt als Ergebnis dieser Metastudie die Prognose der Marktentwicklung für den europäischen Markt. Das linke Diagramm stellt den prognostizierten Marktanteil von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen an den Neuzulassungen in Europa dar. Die zugrunde liegenden Marktanteile der ausgewerteten Studien sind als graue Datenpunkte hinterlegt. Auffallend ist die große Bandbreite der prognostizierten Werte, die aus der hohen Prognoseunsicherheit der zukünftigen Marktentwicklung resultiert. Als Stützstelle für das Referenzszenario wird der Mittelwert der Prognosewerte für das Jahr 2025 angenommen.

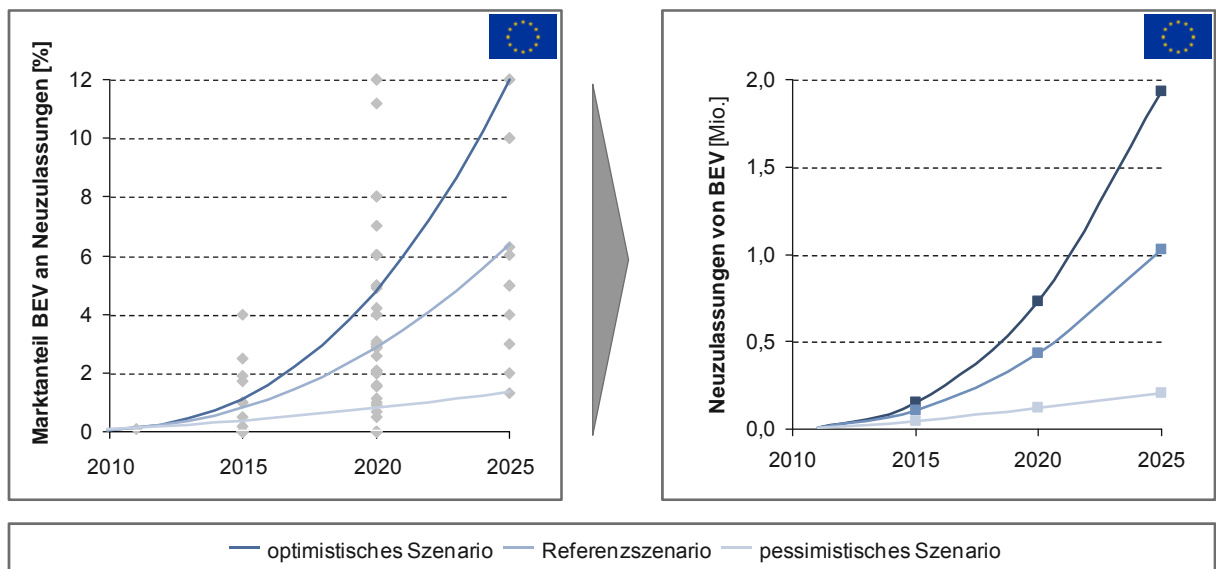


Abb. 5-16: Entwicklung des Markts für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge

Dem optimistischen bzw. dem pessimistischen Szenario liegen der Maximal- bzw. der Minimalwert der Studien zugrunde. Unter der Annahme eines idealtypischen, S-förmigen Verlaufs der Marktdiffusion von Elektrofahrzeugen ergeben sich für die Phase des

Markthochlaufs die in der Abbildung dargestellten Marktentwicklungsszenarien. Das rechte Diagramm bildet die Entwicklung der Neuzulassungszahlen von Elektrofahrzeugen in Europa ab. Dazu wurden die prognostizierten Marktanteile mit dem Gesamtvolumen für Pkw in Europa multipliziert. Basierend auf einem Vergleich verschiedener Studien wird das Pkw-Marktvolumen für das Jahr 2025 mit 16,1 Mio. Fahrzeuge angenommen. Im Referenzszenario ergibt sich demnach für das Jahr 2025 ein Marktanteil von Elektrofahrzeugen i. H. v. 6,4 % bzw. ein Marktvolumen von 1,03 Mio. Elektrofahrzeugen.

### 5.3.3 Prognose der Nachfrageverschiebungen durch Elektrofahrzeuge

Ausgehend von der durchschnittlichen Veränderung der Wertschöpfung pro Fahrzeug sowie der prognostizierten Entwicklung des Marktes für batteriebetriebene Fahrzeuge wurde die durch Elektrofahrzeuge resultierende Nachfrageverschiebung bei den Komponenten für das Jahr 2025 abgeschätzt. Zu diesem Zweck wurden die im Wertschöpfungsmodell abgebildeten Wertschöpfungsumfänge pro Komponente mit den Neuzulassungen batteriebetriebener Elektrofahrzeuge im Jahr 2025 entsprechend dem Referenzszenario multipliziert. Abb. 5-17 stellt die prognostizierten Veränderungen des Nachfragevolumens in Europa dar. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass die steigende Nachfrage nach Elektrofahrzeugen mit einem entsprechenden Aufbau von Produktionskapazitäten in Europa einhergeht und dass die resultierende Nachfrage nach Elektrofahrzeugkomponenten durch Zulieferer mit Produktionsstandorten in Europa abgedeckt wird.

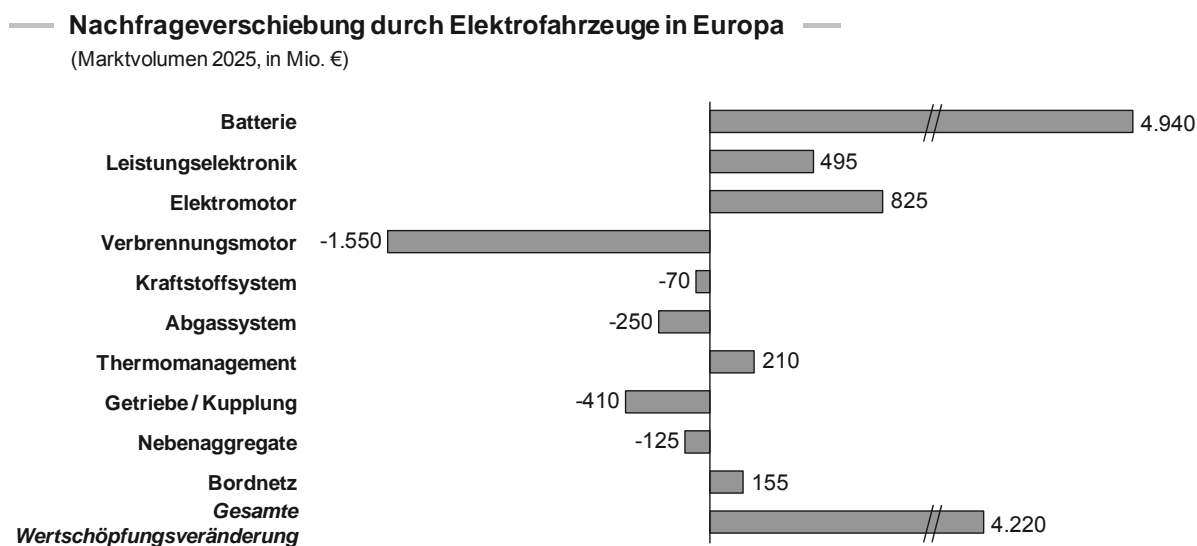


Abb. 5-17: Veränderung des Marktvolumens durch Elektrofahrzeuge

Aufgrund des großen Wertschöpfungsanteils wird das Marktvolumen für Batterien, Leistungselektronik sowie Elektromotoren signifikant ansteigen. Der mit Abstand größte Anstieg des Marktvolumens ist im Bereich der Batterie zu erwarten, deren Nachfrage bis zum Jahr 2025 um voraussichtlich ca. 5 Mrd. € zunehmen wird. Für den Elektromotor und die

Leistungselektronik wird auf der Basis des Wertschöpfungsmodells eine zusätzliche Nachfrage in Höhe von 825 Mio. bzw. 495 Mio. € prognostiziert.

Ein entsprechender Rückgang der Nachfrage ist vor allem im Bereich des konventionellen Verbrennungsmotors zu erwarten. Dabei ergibt sich eine Abnahme des Marktvolumens von ca. 1,6 Mrd. €. Weiterhin werden Rückgänge bei den Komponenten des Kraftstoff- und des Abgassystems, bei Getriebe und Kupplung sowie bei den Nebenaggregaten prognostiziert, die bei Elektrofahrzeugen entweder komplett entfallen oder deutlich vereinfacht ausgeführt sind.

#### **5.4 Erfassung der in NRW vorhandenen Kompetenzen**

In einem weiteren Schritt wurde innerhalb des dritten Arbeitspunktes die derzeitige Struktur der Automobilindustrie in NRW untersucht. Dazu wurde zunächst eine Unternehmensdatenbank aufgebaut, die die regional in NRW vorhandenen Automobilzulieferer sowie deren derzeitiges Produktportfolio umfasst. Darauf aufbauend wurden Kompetenzlandkarten zur Erfassung der aktuellen Kompetenzsituation in NRW erstellt.

##### **5.4.1 Analyse der Automobilzulieferindustrie in NRW**

Zur Erfassung der derzeitigen Ausgangssituation in Bezug auf die elektromobile Wertschöpfungskette wurde zunächst die Zulieferindustrie in NRW detaillierter betrachtet. Insgesamt umfasst die Automobilindustrie in Nordrhein-Westfalen 238 Unternehmen mit ca. 85.100 Beschäftigten (NACE-Code 29, Stand 2012) [NRW13]. Abb. 5-18 visualisiert die Struktur der nordrhein-westfälischen Automobilindustrie anhand der Unternehmenskonzentration sowie der Größenklassen der Unternehmen.

Auffallend ist dabei, dass einige Regionen in NRW eine sehr hohe Konzentration an produzierenden Unternehmen der Automobilindustrie aufweisen. Dazu gehören unter anderem die Kreise Gütersloh, Paderborn, der Hochsauerlandkreis, Kreis Olpe, Märkischer Kreis, Rheinisch-Bergischer Kreis und die kreisfreien Städte Bonn, Solingen und Wuppertal. Hinsichtlich der Unternehmensgröße existierten in NRW lediglich zwölf Großbetriebe mit mehr als 1.000 Beschäftigten, die allerdings 70 % des Umsatzes und ca. 50 % der Beschäftigten auf sich vereinen. Weitere 27 % des Gesamtumsatzes werden von der großen Anzahl an mittelständischen Zulieferern mit mehr als 100 Beschäftigten abgedeckt.

Darüber hinaus fungieren weitere Unternehmen (z. B. Hersteller von Metallerzeugnissen) als indirekte Zulieferer der Automobilbranche, die in der amtlichen Statistik nicht berücksichtigt werden. Unter Berücksichtigung dieser nachgelagerten Wertschöpfungsstufen sind in Nordrhein-Westfalen ca. 800 Unternehmen mit insgesamt ca. 200.000 Beschäftigten direkt oder indirekt von der Automobilindustrie abhängig.



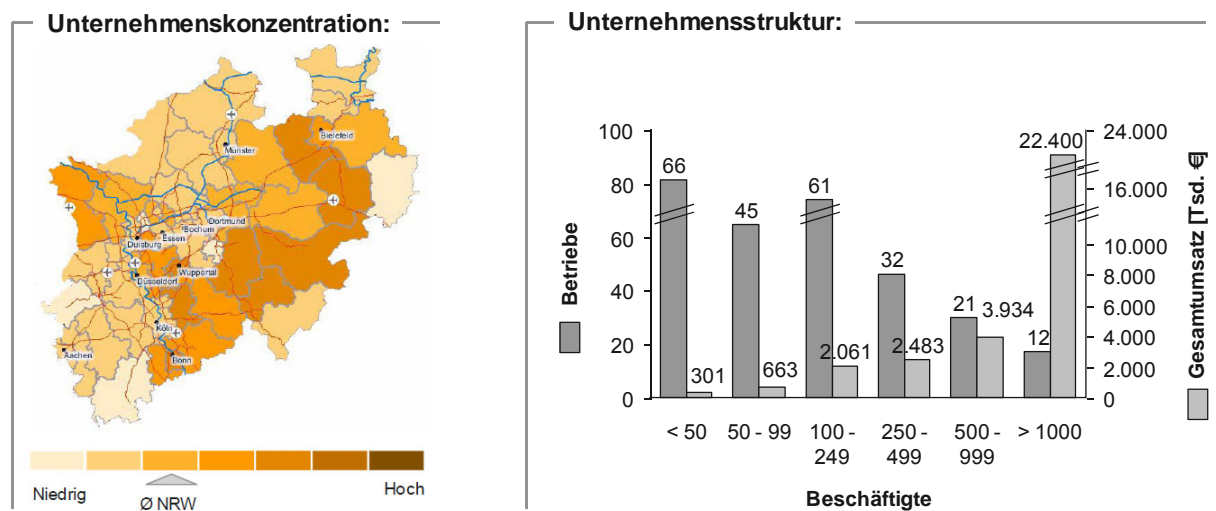


Abb. 5-18: Unternehmenskonzentration und -struktur der Automobilindustrie in NRW [NRW13]

In einem nächsten Schritt wurden die nordrhein-westfälischen Automobilzulieferer identifiziert und in einer Datenbank erfasst, um die Auswirkungen der elektromobilen Wertschöpfungskette auf die Unternehmen in NRW zu bewerten. Die Datengrundlage bildet dabei die Hoppenstedt Firmendatenbank. Durch eine Eingrenzung hinsichtlich des Wirtschaftszweiges wurden insgesamt ca. 640 Unternehmen mit Bezug zur Automobilindustrie in NRW ermittelt. Aufgrund der in dieser Datenbank möglichen Zuordnung zu mehreren Wirtschaftszweigen werden sowohl Unternehmen nachgelagerter Wertschöpfungsstufen als auch Unternehmen, deren Hauptumsatz nicht auf die Automobilindustrie entfällt, abgedeckt.

Abb. 5-19 zeigt einen Ausschnitt der Unternehmensdatenbank. Die Datenbank enthält Informationen zum Hauptstandort des Unternehmens sowie zu den Beschäftigungs- und Umsatzzahlen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Beschäftigten und der Umsatz nicht notwendigerweise vollständig auf die Automobilbranche entfallen. Die in der Datenbank erfassten Unternehmen wurden in einem nächsten Schritt in Bezug auf ihr Produktportfolio untersucht, wobei eine Kategorisierung hinsichtlich der Fahrzeugdomänen Antrieb, Elektrik/Elektronik, Fahrwerk, Karosserie & Exterieur sowie Interieur vorgenommen wurde. Da die durch die Elektromobilität resultierenden Wertschöpfungs- und Kompetenzveränderungen im Wesentlichen den Bereichen Antrieb und Elektrik/Elektronik zuzuordnen sind, wurden diese beiden Domänen weiter hinsichtlich der zugehörigen Systeme und Module (z. B. Verbrennungsmotor, Batteriesystem) differenziert.



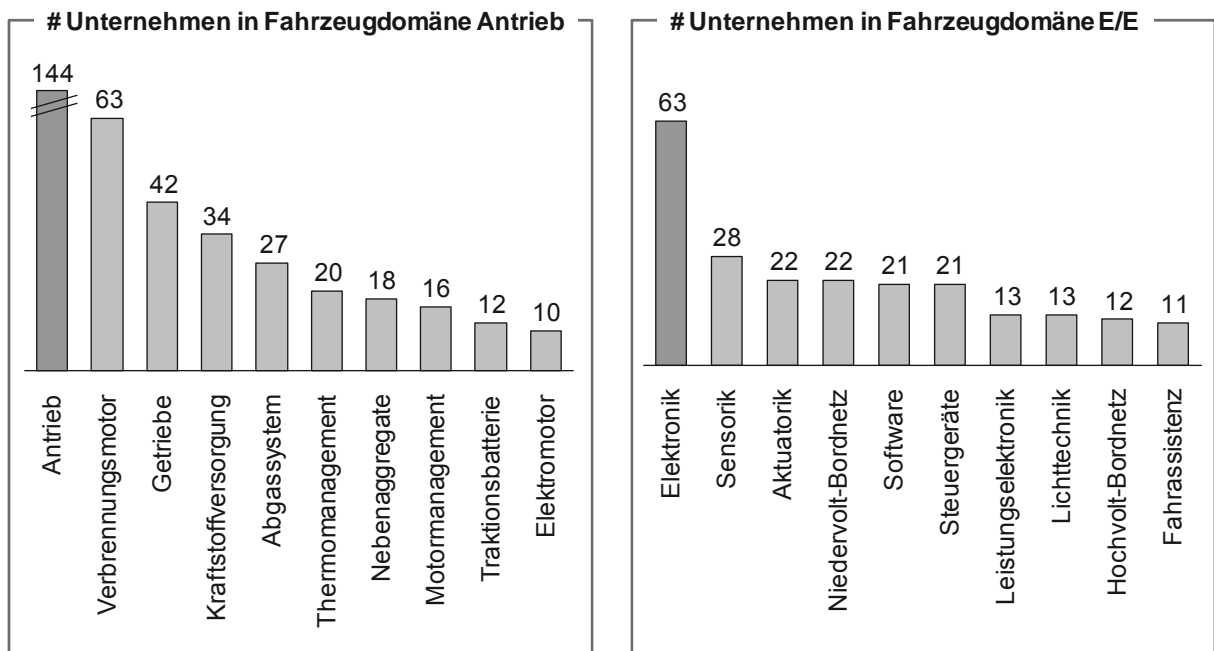


Abb. 5-20: Anzahl identifizierter Unternehmen in den Fahrzeugdomänen Antrieb und E/E

Zur Darstellung der aktuellen Kompetenzsituation in NRW wurden Kompetenzlandkarten erstellt, um die regionale Verteilung der verschiedenen Kompetenzen in NRW aufzuzeigen. Abb. 5-21 zeigt exemplarisch eine Kompetenzlandkarte für die Kompetenzbereiche Verbrennungsmotoren und Getriebe sowie Abgassysteme mit ausgewählten Unternehmen dieser Bereiche.

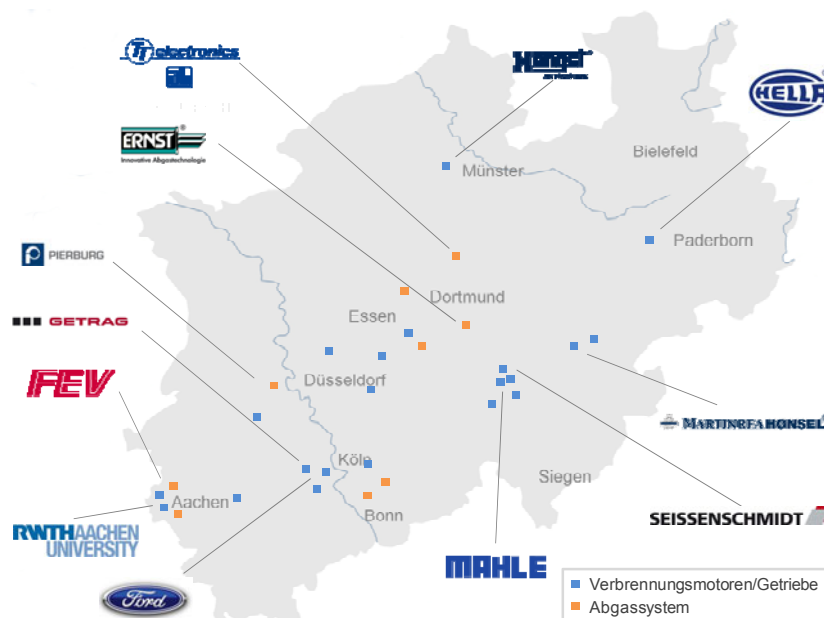


Abb. 5-21: Kompetenzlandkarte „konventioneller Antrieb“

Im Bereich der Verbrennungsmotoren wird in NRW grundsätzlich die gesamte Wertschöpfungskette abgedeckt. Für die Wertschöpfungsstufe der Forschung & Entwicklung existieren verschiedene Hochschulinstitute sowie Entwicklungsdienstleister. Von besonderer Relevanz ist dabei das Unternehmen FEV mit Stammsitz in Aachen, welches das komplette Dienstleistungsspektrum zur Entwicklung und Applikation von Verbrennungsmotoren und Fahrzeugantrieben abdeckt. Auch die Wertschöpfungsstufe der Entwicklung und Produktion von Komponenten für Verbrennungsmotoren wird durch in NRW ansässige Zulieferer besetzt. Einen Schwerpunkt stellen dabei Unternehmen im Bereich der Metallverarbeitung dar, die unter anderem Motor-, Kurbelwellen- und Getriebegehäuse für Pkw produzieren. So stellt das Unternehmen Martinrea Honsel (ehemals HONSEL GmbH) am ehemaligen Stammsitz in Meschede Motorblöcke und Getriebegehäuse aus Aluminium-Druckguss her. Die Wertschöpfungsstufe der Pkw-Motorenproduktion und -montage wird in NRW insbesondere durch den in Köln ansässigen Fahrzeughersteller Ford abgedeckt. Aktuell werden in dem Produktionswerk in Köln ca. 1.000 Motoren (1,0 l, Dreizylinder-Benzinmotor) pro Tag gefertigt.

Neben dem Bereich der Verbrennungsmotoren existieren in NRW weitere Kompetenzen in den Feldern Getriebe und Abgassystem- bzw. -nachbehandlung. Hervorzuheben ist bei den Getrieben die GETRAG Ford Transmission, die am Standort in Köln ca. 2.300 Mitarbeiter in der Verwaltung, der Produktentwicklung, dem Prototypenbau sowie der Produktion beschäftigt. Im Bereich der Abgassysteme und -nachbehandlung sind u. a. die Unternehmen ERNST-Apparatebau (Schalldämpfer und Katalysatoren) mit dem Standort in Hagen, das Unternehmen Emitec (Katalysatorträger, Rußfilter, Metall-Katalysatoren) mit dem Standort in Lohmar in NRW sowie die HJS Emission Technology GmbH & Co (Dieselpartikelfilter, Katalysatoren, Abgasrohre, Steuergeräte) mit dem Standort in Menden vertreten.

In Analogie zu dem Kompetenzfeld „konventioneller Antrieb“ wurde auch für das Kompetenzfeld „elektrischer Antrieb“ eine Kompetenzlandkarte für NRW erstellt, vgl. Abb. 5-22. Ausgehend davon werden innerhalb des vierten Arbeitspunktes Kompetenzlücken und -stärken des Standortes NRW analysiert.

Im Bereich der Forschung für Elektrofahrzeuge und elektrische Antriebskomponenten verfügt NRW über eine sehr gute Kompetenzsituation. Mit dem Batterieforschungszentrum MEET (Münster Electrochemical Energy Technology) an der Universität Münster befindet sich eine weltweit anerkannte Forschungsinstitution zu elektrochemischen Energiespeichern in NRW. Darüber hinaus ist auch Aachen als Forschungsstandort mit verschiedenen Hochschulinstituten der RWTH University sowie angegliederten Forschungseinrichtungen von großer Bedeutung. Sowohl die Grundlagenentwicklung aller Komponenten, als auch die Applikation im Gesamtfahrzeug werden hier abgedeckt. Einige Beispiele entlang der Wertschöpfungskette sind das ISEA (Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe) und das IEM (Institut für Elektrische Maschinen) mit Komponentenfokus, das ika (Institut für Kraftfahrzeuge) mit Gesamtfahrzeugfokus und das WZL (Werkzeugmaschinenlabor), welches u. a. die Produktion von Elektrofahrzeugen und Komponenten weiterentwickelt.

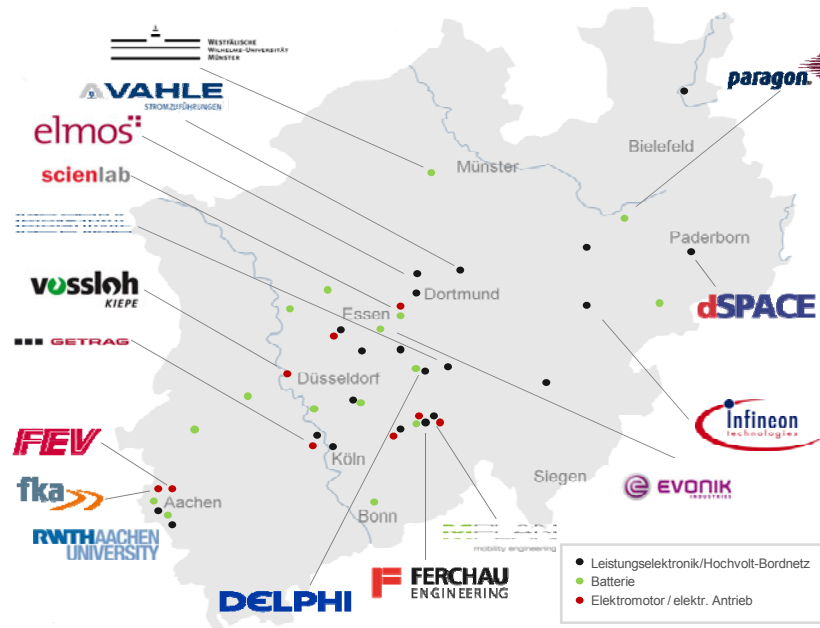


Abb. 5-22: Kompetenzlandkarte „elektrischer Antrieb“

Weitere Kompetenzen im Bereich der Entwicklung von elektrischen Antriebskomponenten existieren in NRW bei Entwicklungsdienstleistern wie Ferchau Engineering mit Sitz in Gummersbach oder M-Plan mit Sitz in Köln. Darüber hinaus hat die FEV GmbH in Aachen neben Entwicklungskapazitäten im Bereich von Verbrennungsmotoren in den letzten Jahren auch Know-How im Bereich des elektrischen Antriebs aufgebaut.

Im Kompetenzbereich Leistungselektronik und Hochvolt-Bordnetz sind die Standorte der Firmen dSpace (Simulation und Test) im Raum Paderborn, Infineon Bipolar GmbH (Leistungshalbleiter) in Warstein, Elmos (z. B. Stromsensoren) in Dortmund sowie Delphi (Hochvoltbordnetz) in Wuppertal hervorzuheben. Aber auch mittelständische Unternehmen wie Mennekes im Kreis Olpe (Ladesysteme und -kabel, Infrastruktur-Komponenten) oder Vahle in Dortmund (Stromzuführungen, induktives Laden) haben erfolgreich Technologiefelder in diesem Bereich besetzt.

Hinsichtlich der Batterietechnik nimmt Evonik (z. B. Fertigung von Separatoren) mit Hauptsitz in Essen den größten Stellenwert ein, wobei das Joint-Venture mit Daimler (Li-Tec Battery GmbH, Kamenz) zur Produktion von Batteriezellen mittlerweile vollständig von Daimler übernommen wurde. Weitere Unternehmen in diesem Bereich sind Paragon (Fertigung von Batteriesystemen für Busse) in der Nähe von Paderborn sowie Delphi (Pilotfertigung Hochvoltkomponenten) in Wuppertal. Elektromotoren werden in NRW u. a. von Getrag in der Nähe von Köln sowie Vossloh Kiepe (Elektromotoren für Busse) in Düsseldorf gefertigt.

## 6 Ableitung von Strategien (AP 4)

Zielsetzung des vierten Arbeitspunktes ist es, Handlungsempfehlungen und Strategien für Fahrzeughersteller und -zulieferer in NRW aufzuzeigen, um sich erfolgreich im Bereich der Elektromobilität zu positionieren. In einem ersten Schritt wurde dazu der Kompetenzbedarf für die fokussierten Schlüsselkomponenten (Batteriesystem, Elektromotor, Leistungselektronik, Brennstoffzelle) analysiert. Durch einen Abgleich mit dem im dritten Arbeitspunkt erstellten Kompetenzprofil wurden Kompetenzlücken in NRW identifiziert. In einem nächsten Schritt wurden die aus der Verschiebung der Kompetenzanforderungen resultierenden Chancen und Risiken für die Automobilzulieferer in NRW untersucht. Zudem wurde im Rahmen des vierten Arbeitspunktes eine Übersicht über die internationale politische Fördersituation im Bereich der Entwicklung und Produktion von Elektrofahrzeugen erstellt. Abschließend wurden für die Interessensvertreter der Wirtschaftsförderungen sowie für relevante politische Akteure Handlungsoptionen dargestellt, um die Attraktivität des Elektromobilitätsstandortes NRW zu erhöhen. Die Ergebnisse des vierten Arbeitspunktes werden im vorliegenden Kapitel zusammenfassend dargestellt, vgl. Abb. 6-1.

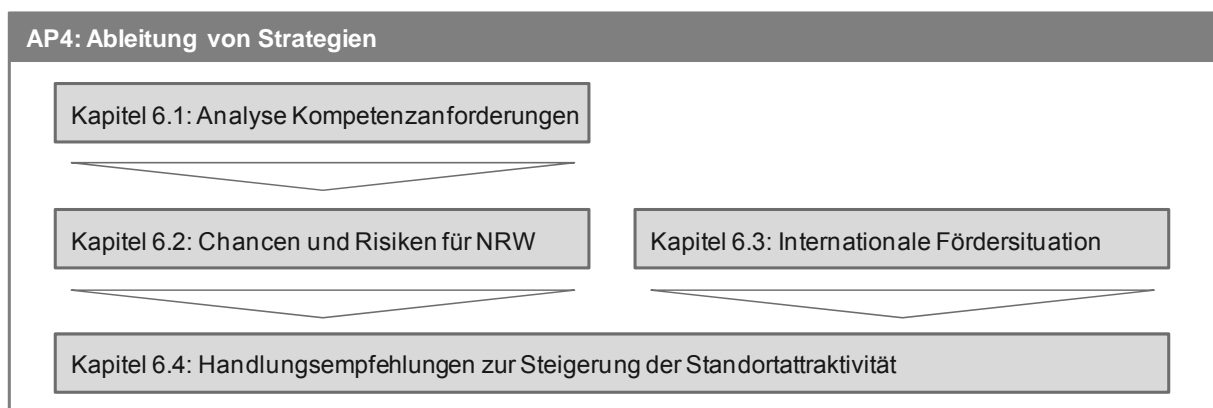


Abb. 6-1: Gliederung Kapitel 6 – Ableitung von Strategien

### 6.1 Analyse des Kompetenzbedarfs für die Schlüsselkomponenten

Basierend auf den im zweiten Arbeitspunkt analysierten Produktionsprozessen wurden die erforderlichen Kompetenzen zur Produktion der Schlüsselkomponenten Batteriesystem, Elektromotor, Leistungselektronik sowie Brennstoffzelle untersucht. Dabei wurden Kompetenzen aus den Bereichen Know-How, Prozesse und Produktionstechnik berücksichtigt.

#### 6.1.1 Kompetenzbedarf für die Produktion von Elektromotoren

Die Großserienfertigung von Elektromotoren für den Einsatz in elektrischen Fahrzeugen und die Zusammenarbeit mit Automobilherstellern implizieren neue Herausforderungen für die etablierten Produzenten von Elektromotoren. Neben der Minimierung der Fertigungskosten stehen die durchgehende Gewichtsoptimierung, die Steigerung von Wirkungsgrad und Leistungsdichte, sowie die Gewährleistung geringer Ausfallraten und hoher Produktqualität im Vordergrund [SCH13]. Für den gesamten Entwicklungs- und Fertigungsprozess sind deshalb

die Felder Leichtbau, Automatisierung und Qualitätsmanagement von großer Bedeutung. Ein hohes Kompetenzniveau in diesen Bereichen ist Grundvoraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg einer Großserienproduktion von Elektromotoren für elektrisch angetriebene Pkw. Im Folgenden werden die Kompetenzen erläutert, die darüber hinaus zusätzlich zur Fertigung der einzelnen Bauteile des Elektromotors erforderlich sind, vgl. Abb. 6-2.

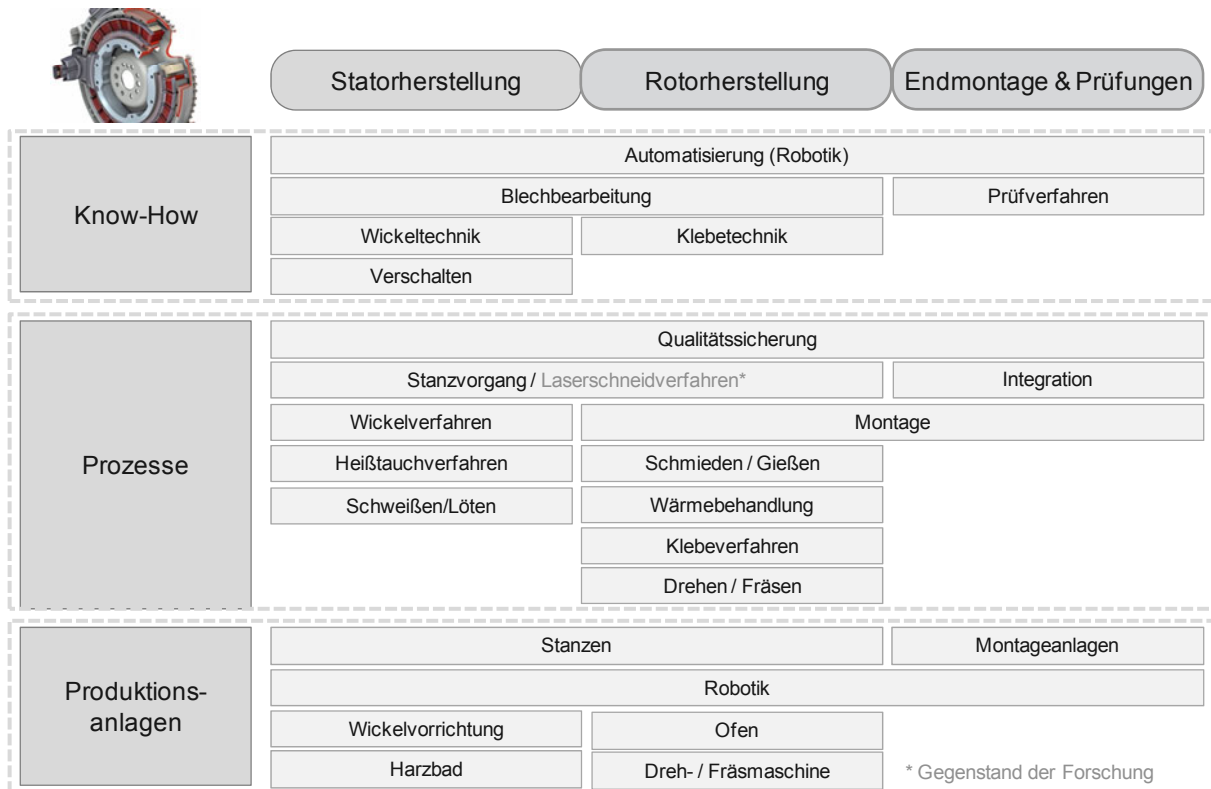


Abb. 6-2: Kompetenzanforderungen für die Produktion von Elektromotoren

Die erforderlichen Kompetenzen zur Fertigung der Rotorwelle erstrecken sich hauptsächlich auf die Bereiche Druckguss- und Umformtechnik, sowie die spanende Bearbeitung und Wärmebehandlung. Zur Vermeidung von Unwuchten und Materialversagen im Betrieb sind eine hohe Präzision und eine gleichbleibende Fertigungsqualität notwendig.

Für die Produktion der Blechpakete des Stators müssen die einzelnen Bleche im ersten Schritt auf die richtige Größe zugeschnitten werden. Dazu sind Kenntnisse zur Blechtrennung erforderlich. Stanzprozesse, die zum Gebiet der Umformtechnik gehören, oder auch Laserschneidverfahren finden hier Anwendung. Zudem wird entsprechendes Know-How in der Fügetechnik benötigt, um aus den einzelnen Blechen im Anschluss Statorpakete zu fertigen. In Frage kommen beispielsweise Klebe- und Schweißverfahren sowie Fügen durch Pressen. Für die Nachbearbeitung des Blechpaketes ist wiederum Kompetenz in Zerspanprozessen notwendig. Der anschließende Wickelprozess ist zentraler Bestandteil der Produktion von Elektromotoren. Der sogenannte Füllgrad, also die Dichte der Wicklung, hat großen Einfluss auf den Materialverbrauch und die Leistungsdichte des Motors. Da hauptsächlich das auf dem Weltmarkt teure Kupfer in den Wicklungen verbaut wird, hat der

Wickelprozess zudem starke Auswirkungen auf die gesamten Fertigungskosten. Daher sind insbesondere beim Wickelprozess eine hohe Prozesskompetenz und entsprechende Produktionsanlagen wettbewerbsentscheidend. Für das abschließende Imprägnieren des Stators muss entsprechendes Wissen zum Umgang mit und zur Verarbeitung der verwendeten Imprägniermittel (Harze) und den Imprägnierverfahren, wie Tauchen oder Träufeln, vorhanden sein. Die Verdrahtung und das Testen der Wicklungen erfordern Kompetenzen in der Elektrotechnik.

Die Fertigung der rotorseitigen Blechpakete verläuft analog zu den oben beschriebenen Schritten der Produktion der Blechpakete des Stators und kann dementsprechend mit identischen Verfahren erfolgen. Die Bestückung des Rotors mit Permanentmagneten oder Metallstäben und die anschließende Bandagierung sollten vollständig automatisiert erfolgen. Dazu sind Erfahrungen in der Robotik und der Automatisierungstechnik erforderlich.

Zur Herstellung des Motorgehäuses werden Kompetenzen in den Bereichen Druckgießen, Umformen und Zerspanen benötigt. Innerhalb der Endmontage des Elektromotors bedingt die Herstellung von Presspassungen zwischen Rotor und Welle, sowie Stator und Gehäuse Kompetenzen in der Fügetechnik. Elektrotechnisches Know-how und die Beherrschung der Verbindungstechnik sind für den elektrischen Anschluss der Bauteile grundlegend. Der Einsatz von Testverfahren in Kombination mit einem guten Qualitätsmanagement ermöglichen die Gewährleistung einer hohen Qualität des Enderzeugnisses.

### **6.1.2 Kompetenzbedarf für die Produktion von Batteriesystemen**

Die für die Produktion von Batteriesystemen erforderlichen Kompetenzen in den Bereichen Know-how, Prozesse und Produktionstechnik sind in Abb. 6-3 zusammengefasst. Eine wesentliche Voraussetzung für eine Massenfertigung von Batteriesystemen ist ein umfassendes Know-how im Bereich Testing. Während des gesamten Produktionsprozesses müssen zahlreiche Prüf- und Testverfahren durchgeführt werden, um eine hohe Qualität der Traktionsbatterien zu gewährleisten. Dazu zählen Eingangstests, Spannungs- und Innenwiderstandstests, End-of-Line-Tests, Lade-, Zyklisierungs-, Flash- und Dichtigkeitstests. Die Kenntnis und Anwendung dieser Tests ist für Unternehmen im Bereich der Batterieproduktion grundlegend, da vor dem Hintergrund einer zukünftigen Großserienproduktion in der Automobilindustrie ein kontinuierlich steigender Qualitätsanspruch zu erwarten ist. Aufgrund der hohen Stückzahlen ist zudem davon auszugehen, dass Prüfverfahren zukünftig vollautomatisiert durchgeführt werden.

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Batterieherstellung ist die Fähigkeit, in der Produktion mit Hochvoltssystemen umgehen und arbeiten zu können. Hohe Spannungen, die schon während des Produktionsprozesses an den Batteriezellen und Modulen anliegen, sorgen dafür, dass eine manuelle Montage erschwert und teilweise sogar verhindert wird. Bei der Modulmontage muss ein Arbeiten bei einem Spannungsniveau von bis zu 750 V gewährleistet werden.



Grundsätzlich müssen bei der Produktion von Batterien verschiedene Tätigkeiten durchgeführt werden, die Kenntnisse im Umgang mit elektrischen und elektronischen Komponenten erfordern. So müssen z. B. bei der Batteriemodulherstellung Zellüberwachungseinheiten integriert und angeschlossen, Zellelektrolyt integriert und Stromableiter kontaktiert werden. Bei der Batteriesystemmontage müssen die Zellüberwachungseinheiten untereinander verbunden, Module kontaktiert und durch Kontaktschienen miteinander verschaltet werden. Daher muss zur Einschätzung kritischer Vorgänge ein umfassendes Verständnis dieser Tätigkeiten vorhanden sein, um diese Prozesse sicher ausführen und optimieren zu können.

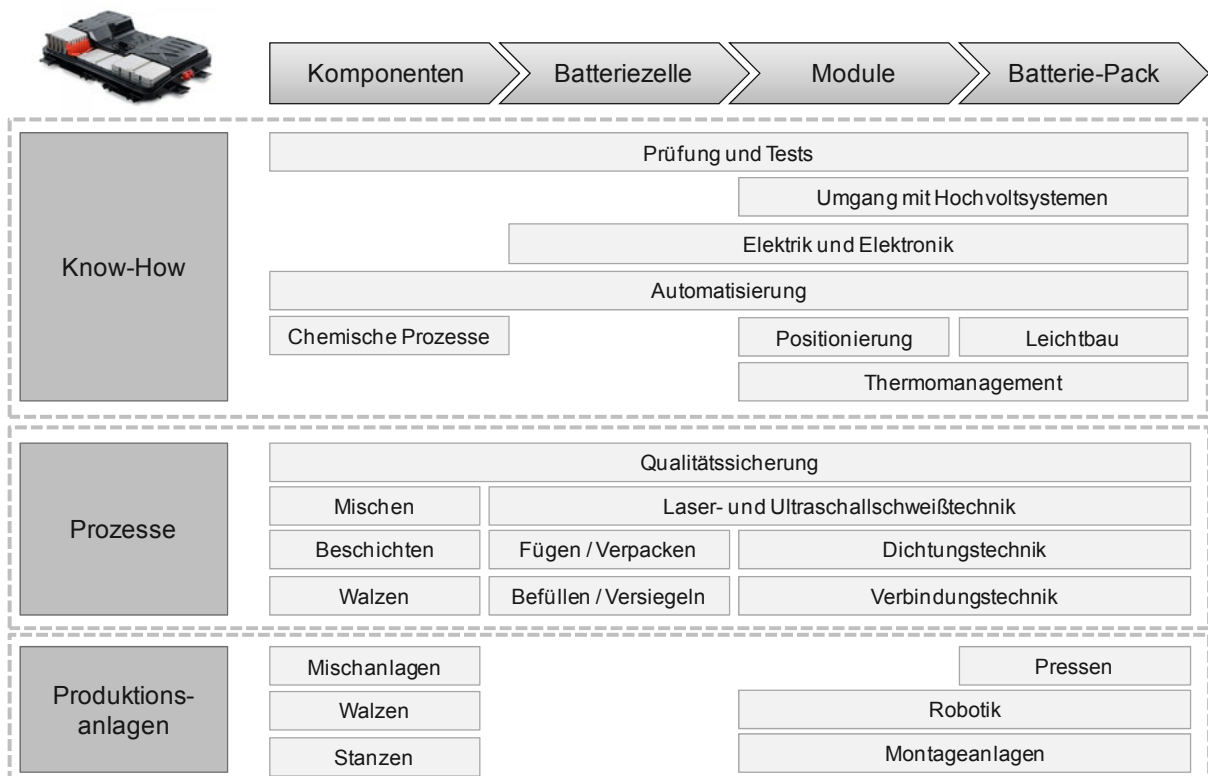


Abb. 6-3: Kompetenzanforderungen für die Produktion von Batteriesystemen

Ein zentrales Problem bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen ist das hohe Gewicht elektrischer Antriebssysteme. Dabei stellt die Batterie den größten Gewichtstreiber im Fahrzeug dar. Die Umsetzung von Leichtbaumaßnahmen gewinnt bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen an Bedeutung, um das Gewicht des Batteriesystems zu reduzieren. Ansätze dafür existieren zum einen bei der Bauteildimensionierung (konstruktiver Leichtbau) und zum anderen bei der Auswahl geeigneter Leichtbaumaterialien (materieller Leichtbau) wie Magnesiumlegierungen oder Polymer-Kunststoffen zur Gestaltung des Batteriegehäuses. Dabei müssen die Anforderungen hinsichtlich Crashesicherheit eingehalten sowie Maßnahmen zur Schadensbegrenzung bei Fehlfunktionen und Brand umgesetzt werden.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Sicherheit und die Haltbarkeit von Batteriesystemen hat das Thermomanagementsystem. Bei der Auslegung des Thermomanagementsystems muss

darauf geachtet werden, dass eine möglichst homogene Temperaturverteilung innerhalb einer Batteriezelle sowie zwischen verschiedenen Batteriezellen unter allen Betriebsbedingungen gewährleistet ist. Daher sind umfangreiche Kenntnisse in den Bereichen Thermodynamik und Thermomanagement von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung von Batteriesystemen.

In Analogie zu den Kompetenzen im Bereich Wissen spielt auch bei den Prozessen zur Herstellung von Traktionsbatterien die Qualitätssicherung eine entscheidende Rolle. Während des gesamten Prozesses muss die Qualität der einzelnen Komponenten sichergestellt werden. Ein etabliertes Qualitätsmanagementsystem nach EFQM oder ISO 9001 ist demnach unabdingbar.

Die wichtigsten Prozesse bei der Fertigung der Batteriezellen sind das Mischen und Beschichten mit aktivem Material, welche den größten Einfluss auf Qualität und Leistungsfähigkeit einer Batteriezelle nehmen. Beim Mischen ist es entscheidend, die chemischen Komponenten der Elektrodenbeschichtung im richtigen Verhältnis zusammenzuführen (Slurry) und eine homogene Materialverteilung zu erreichen. Beim Beschichten wird diese Suspension auf Elektrodenfolien aus Kupfer oder Aluminium aufgetragen. Dabei ist entscheidend, dass eine konstante Schichtdicke aufgetragen wird. Ebenfalls kritisch ist der Prozess des Kalanderns (Walzen) des Slurry und der Elektrodenfolien. Hierbei muss ebenfalls eine einheitliche Schichtdicke erzeugt werden.

Aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen an die Batteriemodule werden permanent neue Produktionsprozesse getestet und evaluiert. Bei der elektrischen Kontaktierung der Zellableiter untereinander sind z. B. prinzipiell verschiedene Verfahren möglich. Aufgrund der Forderung nach dauerhafter Sicherheit des Kontakts und niedrigem Kontaktwiderstand zwischen den Zellen werden hier stoffschlüssige Verfahren bevorzugt, die möglichst wenig Beschädigung durch thermische Einflüsse verursachen. Hierbei rücken Ultraschall- und Laserschweißen in den Vordergrund, die aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen vorteilhaft sind. Diese Schweißverfahren werden ebenfalls beim Verschalten der Moduleinheiten untereinander über Kontaktschienen angewendet.

Hohe Bedeutung im Produktionsprozess von Batteriesystemen kommt zudem der Verbindungs- und Fügetechnik zu. Diese Prozesse müssen unter Hochspannung durchgeführt werden, was den Einsatz von Montagerobotern begünstigt. Bei der Endmontage und dem Verschluss des Batteriegehäuses muss darüber hinaus eine Abdichtung gegenüber der Umgebung realisiert werden. Auch dabei werden in Zukunft automatisierte Produktionsverfahren und entsprechende -prozesse zum Einsatz kommen.

Hinsichtlich der Produktionsanlagen für Batteriesysteme liegt der Schwerpunkt auf der Herstellung der Elektroden, der Montage der Module und der Herstellung des Gehäuses. Im Zuge der Elektrodenproduktion werden im Wesentlichen Anlagen zur Mischung des Slurry, Kalandermaschinen zum Walzen des Slurry und der Elektrodenfolien, sowie Stanzen zum Schnitt der Folien zu Elektrodenblättern benötigt.

Eine zunehmende Bedeutung werden im Zuge der Automatisierung von Prozessen und der geplanten Großserienfertigung zukünftig vollautomatisierte Montageanlagen und der Einsatz von Industrierobotern erlangen. In diesem Zusammenhang wird in Zukunft eine stark erhöhte Automatisierung der Modulmontage erwartet. Insbesondere bei höheren Stückzahlen ist eine manuelle Montage nicht mehr wirtschaftlich. Investitionen in Montagelinien sind daher notwendig, um eine erhöhte Automatisierung zu gewährleisten. Ein wichtiger Faktor bei der Automatisierung von Montageprozessen ist die Möglichkeit der punktgenauen Positionierung schwerer und sperriger Zellmodule. Dafür werden Positionsroboter mit entsprechenden Greifereinheiten benötigt.

Zur Herstellung der Batteriegehäuse werden tiefziehende, kraftgebundene Pressen benutzt. Dies ist mit einem hohen Investitionsaufwand verbunden. Die Herausforderung besteht dabei in der Sicherstellung einer hohen Maßgenauigkeit. Dieser Prozess könnte daher zukünftig aus der Produktionskette ausgegliedert und von einem externen Anbieter übernommen werden.

### 6.1.3 Kompetenzbedarf für die Produktion der Leistungselektronik

Basierend auf den in Kapitel 4.4.3 analysierten Produktionsstrukturen werden im Folgenden die erforderlichen Kompetenzen in den Bereichen Wissen, Prozesse und Produktionsanlagen für die einzelnen Produktionsschritte einer Leistungselektronik dargestellt, vgl. Abb. 6-4.

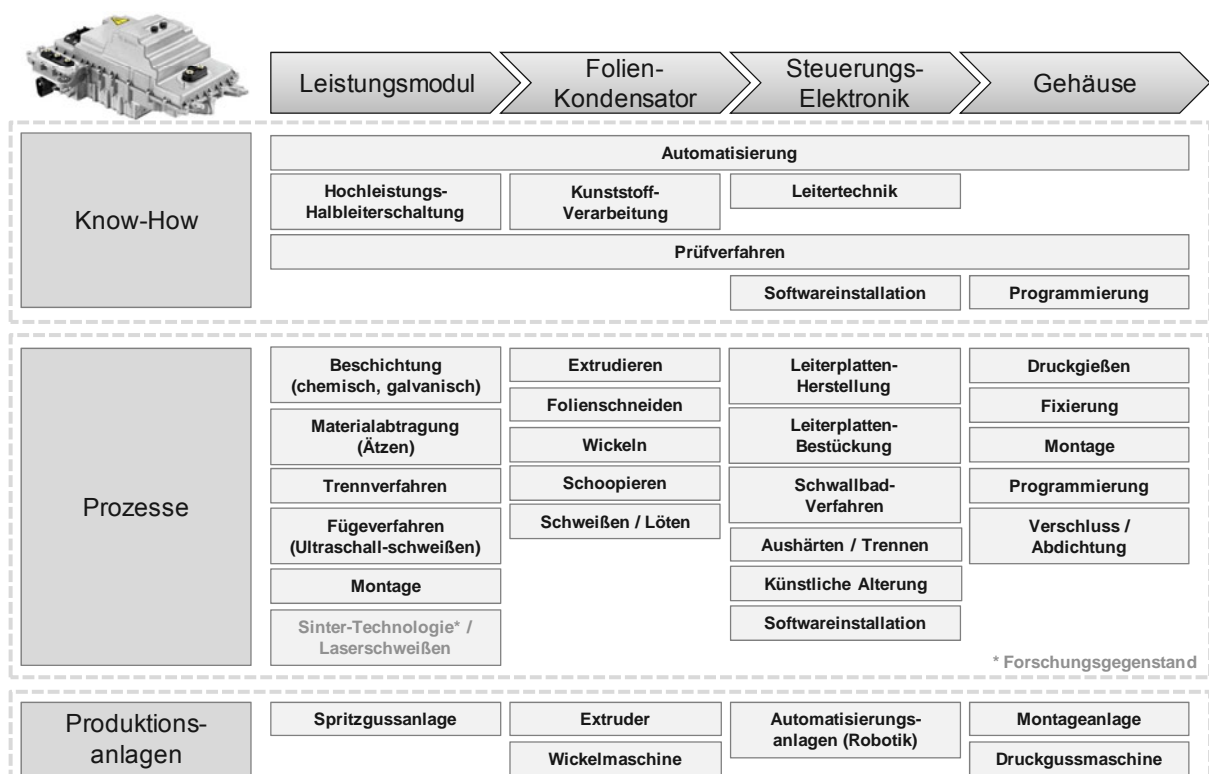


Abb. 6-4: Kompetenzanforderungen für die Produktion der Leistungselektronik

Eine zentrale Bedeutung bei der Herstellung von Leistungselektroniksystemen hat die weitreichende Automatisierung der Produktionsprozesse. Bei einer Eigenproduktion und -entwicklung der einzelnen leistungselektronischen Bauteile wird umfassendes Know-how bezüglich Hochleistungs-Halbleiterschaltungen und Leitertechnik benötigt. Elementar bei der Herstellung von Folienkondensatoren sind außerdem Erfahrungen im Umgang mit Kunststoffen. Dieses Wissen ist ebenfalls bei der Herstellung von Kunststoffgehäusen für Leistungsmodule entscheidend.

Zur Erfüllung der hohen Qualitätsanforderungen bei der Produktion von Leistungselektroniken für die Automobilindustrie ist die Anwendung von kontinuierlichen Prüf- und Testverfahren während des gesamten Produktionsprozesses von Bedeutung. Des Weiteren ist Wissen hinsichtlich der Software von Steuerungselektronik und der Programmierung des Gesamtsystems erforderlich.

Im Bereich der Produktionsprozesse sind für die Herstellung von Leistungsmodulen einige spezifische Prozesse von besonderer Bedeutung. Dazu zählen das chemische oder galvanische Kupferbeschichten, Materialabtragung durch Ätzen, Trennverfahren, Fügeverfahren wie Ultraschweißen oder Löten sowie Prozesse zur Montage der einzelnen Bauteile. Gegenstand der Forschung bei der Produktion von Leistungsmodulen ist der Einsatz von Sintertechnologien als Substitut für Lötverbindungen sowie der Einsatz von Laserschweißen für Kupferverbindungen. Durch den Einsatz der Sintertechnologie werden höhere Betriebstemperaturen, eine gesteigerte thermische Leitfähigkeit, eine verbesserte Chip-Kühlung und höhere Inverter-Spannungen ermöglicht. [FRA12]

Zur Herstellung von Folienkondensatoren muss der Prozess der Folienextrusion beherrscht werden. Nachdem die Folien geschnitten wurden wird ein spezielles Wickelverfahren, bei dem zwei geschnittene Folien leicht gegeneinander versetzt gewickelt werden, angewandt. Des Weiteren ist Know-how im Bereich des Schoopierverfahrens erforderlich.

Zur Fertigung der Steuerungselektronik müssen Kompetenzen im Bereich der Leiterplattenherstellung und -bestückung vorhanden sein. Ein weiterer entscheidender Fertigungsprozess ist die Kontaktierung der einzelnen Bauteile auf der Leiterplatte. Hierbei wird die Platte mithilfe des sogenannten Schwallbadverfahrens gelötet. Um die gewünschten Bauteilspezifikationen einzuhalten muss ein künstlicher Alterungsprozess durchlaufen werden.

Zentraler Fertigungsschritt zur Herstellung des Gehäuses der Leistungselektronik ist das Aluminium-Druckgussverfahren. Hierbei wird unter sehr hohem Druck Aluminium in eine Form gepresst werden. Dieser Fertigungsschritt kann jedoch relativ einfach aus der Produktion ausgegliedert werden. Bei dem abschließenden Produktionsschritt der Endmontage der Leistungselektronik ist es von Bedeutung, die einzelnen Elektronikbauteile zu fixieren und das montierte System sorgfältig zu verschließen und abzudichten. Dabei sind Prozesskenntnisse im Bereich der Montage- und Dichtungstechnik von Relevanz.

Zur Produktion der Leistungselektronik sind u. a. Produktionsanlagen für die Herstellung des Gehäuses sowie zur Folienextrusion erforderlich. Für die Produktion des Folienkondensators

wird ein Folienextruder und für die Herstellung des Leistungsmodulgehäuses eine Spritzgussmaschine benötigt. Wichtig für den Gesamtprozess sind ein hoher Automatisierungsgrad und die Produktion unter Reinraumbedingungen. Besonders bei der Bestückung von Leiterplatten kann in Zukunft nicht mehr auf den Einsatz von Roboter verzichtet werden. Zur abschließenden Endmontage wird eine automatisierte Montageanlage benötigt. [FRA12]

#### **6.1.4 Kompetenzbedarf für die Produktion von Brennstoffzellensystemen**

Aufgrund der hohen Komplexität von Brennstoffzellensystemen erfordert die Entwicklung und Fertigung von Brennstoffzellen Kompetenzen in vielen unterschiedlichen Bereichen. Obwohl die Automobilindustrie bereits seit ca. 20 Jahren an der Umsetzung der Brennstoffzellentechnik für automobiler Anwendungen forscht, konnte bislang noch keine Massenproduktion realisiert werden. Im Folgenden werden die erforderlichen Kompetenzen in Bezug auf Prozesse, Know-How, und Produktionsanlagen dargestellt. Abb. 6-5 liefert eine Übersicht über die Kompetenzanforderungen im Bereich Brennstoffzelle.

Zur Produktion der Brennstoffzellenstacks wird umfassendes Wissen im Bereich der Membran-Herstellung und der Katalysatortechnik vorausgesetzt. Um chemische Reaktionen effizient ablaufen zu lassen, ist deren Kenntnis sowie die Kenntnis von Prozessen zur Oberflächenvergütung wie Gasdiffusion oder Beschichtungstechnik von großer Bedeutung. Bei der Stackmontage ist die kontinuierliche Durchführung von Prüfungen und Tests von Relevanz. Da der Brennstoffzellenstack elementar für die Funktion eines Brennstoffzellensystems ist, muss eine möglichst hohe Qualität des Stacks gewährleistet werden.

Die Herstellung weiterer Komponenten erfordert ein breites Know-How in unterschiedlichen Bereichen, da sich einige der Komponenten in ihrem Aufbau sehr voneinander unterscheiden. An das System werden hohe Sicherheitsanforderungen gestellt, weshalb auch hier Prüfungen und Tests eine zentrale Bedeutung zukommt. Als Testverfahren müssen z. B. Lecktests, Rundlauf- und Maßprüfung, Röntgen/CT und Ultraschallprüfung beherrscht werden. Zur Herstellung der einzelnen Systemkomponenten ist es wichtig, Kunststoffverarbeitungsverfahren (z. B. Extrusion) und chemische Umwandlungsverfahren zu beherrschen. Eine wichtige Kompetenz liegt im Bereich der Kohleverbund- und Glasfaserwerkstofftechnik. Da sehr hohe Sicherheitsanforderungen an die Wasserstoffdrucktanks gestellt werden, werden diese aktuell meist in Eigenfertigung hergestellt. Bei der Montage des Gesamtsystems sind wiederum Prüfungs- und Testprozeduren von hoher Relevanz.

Da eine Massenproduktion von Brennstoffzellenfahrzeugen aktuell noch nicht umgesetzt wurde, stellt sich über die gesamte Prozesskette hinweg die Frage, ob eine weitgehende Automatisierung von Herstellungsprozessen derzeit wirtschaftlich sinnvoll ist. Einige Prozesse können heute nur manuell durchgeführt werden. Andere Prozesse hingegen können mit steigendem Automatisierungsgrad wirtschaftlich günstiger durchlaufen werden. Bei der Herstellung von MEA-Einheiten oder Bipolarplatten sorgt z. B. ein hoher Automatisierungsgrad für eine deutliche Steigerung der Qualität. Daher sollten Kenntnisse hinsichtlich der Prozessautomatisierung aufgebaut werden. Des Weiteren kann dieses Wissen von Vorteil sein,

sofern in den nächsten Jahren eine Massenproduktion von Brennstoffzellenfahrzeugen realisiert wird. [FRA12]

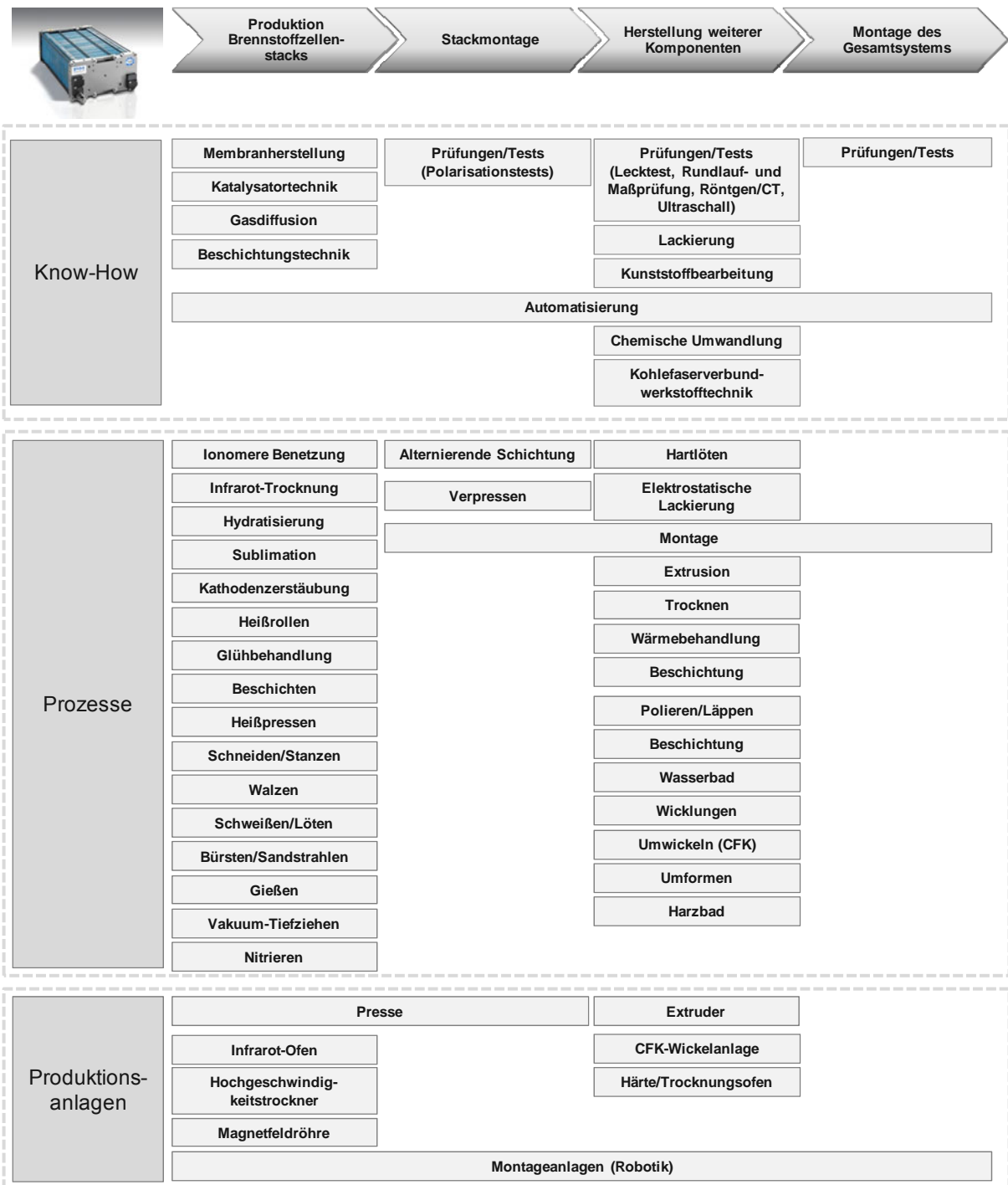


Abb. 6-5: Kompetenzanforderungen für die Produktion von Brennstoffzellensystemen

Zur Produktion von Brennstoffzellensystemen ist eine Vielzahl von unterschiedlichen Prozesskompetenzen erforderlich. Um das komplette System in Eigenfertigung herstellen zu können, muss ein sehr breites Feld von Fertigungsverfahren beherrscht werden. Bei der Produktion von Brennstoffzellenstacks werden chemische Prozesse wie z. B. Hydratisieren

oder Nitrieren, aber auch mechanische Verfahren wie z. B. Heißpressen, Gießen oder Vakuum-Tiefziehen sowie thermische Prozesse wie Infrarot-Trocknung, Schweißen/Löten oder Glühbehandlung durchgeführt.

Im Rahmen der Stackmontage bestehen die Hauptprozessschritte darin, die einzeln hergestellten Komponenten vorzubereiten. In einer Presse wird der Stack dazu zunächst zusammengepresst, damit dieser im Anschluss verschraubt werden kann.

Wie bei der Produktion der Brennstoffzellenstacks kommen bei der Herstellung der weiteren Komponenten zahlreiche unterschiedliche Produktionsprozesse zum Einsatz. Besonders hervorzuheben sind hierbei die Produktionsprozesse zur Herstellung von Wasserstofftanks. Den Umwicklungsverfahren der CFK- und GFK-Technik kommt dabei ein besonderer Stellenwert zu. Auch die Umformung des zylindrischen Ausgangsmaterials aus Metall (Liner) muss sorgfältig durchgeführt werden, um die Entstehung von Rissen zu vermeiden, aus denen unter Druck Wasserstoff austreten könnte.

Zur Montage des Gesamtsystems ist u. a. die Handhabung von Verkabelung und Leitungen erforderlich. Die einzelnen Systemkomponenten werden dabei manuell miteinander verbunden.

Hinsichtlich der Produktionsanlagen werden zur Produktion von Brennstoffzellensystemen speziell für die Fertigungsprozesse angepasste oder hergestellte Produktionsanlagen verwendet. Bipolarplatten werden z. B. mittels spezieller mehrstufiger Pressen hergestellt. Bei der Herstellung von MEA werden außerdem Infrarot-Öfen und Hochgeschwindigkeitstrockner eingesetzt. Zur Übertragung der Katalysatorschicht auf das Trägermaterial muss das PtCoMn-Katalysatormaterial in einer Magnetfeldröhre zerstäubt werden.

Bei der Stackmontage liegt der Fokus auf der Montageanlage, die je nach Automatisierungsgrad halbautomatisch oder vollautomatisch betrieben werden kann. Ein weiteres Werkzeug zur Montage des Stacks ist eine Presse, welche die einzelnen Bestandteile des Stacks zusammenpresst, damit diese verschraubt werden können.

Auch zur Herstellung der weiteren Systemkomponenten sind spezielle Produktionsanlagen erforderlich. So werden z. B. Extrusionsanlagen eingesetzt. Besondere Bedeutung kommt auch den CFK-Wickelanlagen bei der Herstellung von Wasserstoffdrucktanks zu. Im Zuge der Verarbeitung von Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen werden ebenso Harzbäder und Härte- bzw. Trocknungsöfen benutzt.

## **6.2 Chancen und Risiken für NRW**

Zur Ermittlung der mit der zunehmenden Verbreitung der Elektromobilität einhergehenden Chancen und Risiken für den Automobilstandort NRW wurde das in AP 3 identifizierte Kompetenzprofil mit dem Kompetenzbedarf für die Schlüsselkomponenten Batterie, Elektromotor und Leistungselektronik abgeglichen, vgl. Abb. 6-6.

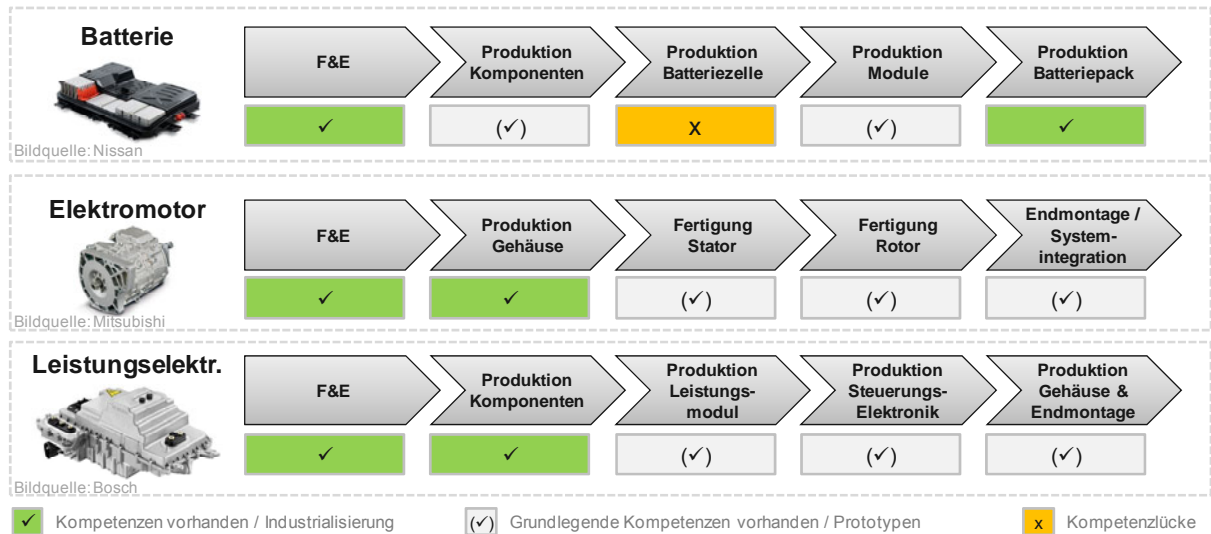


Abb. 6-6: Abgleich der Kompetenzanforderungen

Im Bereich der Forschung und Entwicklung von elektrischen Antriebskomponenten verfügt NRW über eine sehr gute Ausgangssituation, die insbesondere auf die Existenz international renommierter Hochschulinstitute sowie führender Forschungseinrichtungen zurückzuführen ist. So befindet sich mit dem Batterieforschungszentrum MEET (Münster Electrochemical Energy Technology) an der Universität Münster eine weltweit anerkannte Forschungsinstitution zu elektrochemischen Energiespeichern in NRW. Darüber hinaus existieren in NRW eine Vielzahl weiterer Akteure, die sich u. a. auf Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich Elektromotoren, Leistungselektronik, Antriebsstrangkonzeppte, Energiemanagement, Thermomanagement oder der Produktion von elektrischen Antriebskomponenten spezialisiert haben. Insgesamt ist der Standort NRW daher sowohl hinsichtlich der Breite als auch hinsichtlich der Exzellenz der Forschungseinrichtungen international gut aufgestellt.

Auch im Bereich der Produktion der Komponenten des elektrischen Antriebs verfügt die Industrie in NRW, mit Ausnahme der Produktion der Batteriezellen, über entsprechende Kapazitäten. Allerdings sind dabei teilweise Defizite hinsichtlich der Industrialisierung der Komponenten (nur prototypische Realisierung) bzw. hinsichtlich der Übertragung existierender Komponenten (z. B. Elektromotoren) aus anderen Industriebereichen auf den Automobilsektor festzuhalten. So können z. B. die in NRW ansässigen Hersteller von Elektromotoren und Leistungselektroniken für Werkzeugmaschinen ihre Produktionskompetenzen aufgrund anderer Anforderungen und Rahmenbedingungen nur eingeschränkt auf automobiler Anwendungen übertragen. Eine Kompetenzlücke in NRW besteht im Hinblick auf die Produktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass insgesamt die Batteriezellproduktion in Deutschland schwach ausgeprägt ist und aktuell asiatische Unternehmen (insbesondere aus Japan und Korea) eine starke Marktposition besitzen. Aufgrund der großen Relevanz von Skaleneffekten zur Reduktion der Batteriekosten sowie hoher Markteintrittsbarrieren für neue Akteure werden diese Unternehmen auch in Zukunft den Markt für Batteriezellen bestimmen, so dass der Aufbau von Produktionskapazitäten für Batteriezellen in NRW vermutlich wirtschaftlich nicht rentabel sein wird.



Insgesamt werden in NRW derzeit nicht alle Wertschöpfungsstufen der Elektromobilität vollständig durch die ansässigen Unternehmen abgedeckt. In NRW befindet sich aktuell kein Produktionswerk eines Fahrzeugherstellers, in dem batteriebetriebene Elektrofahrzeuge in einer größeren Serie gefertigt werden. Dies ist zum einen auf die vergleichsweise geringe Präsenz der Pkw-Hersteller in NRW und zum anderen auf das frühe Marktstadium der Elektromobilität zurückzuführen. Im Vergleich zu anderen Wirtschaftsregionen in Deutschland fehlen Systemzulieferer wie Bosch oder Continental, die den Elektromotor oder die Leistungselektronik als Komplettsystem in Serie produzieren. Die nordrhein-westfälische Zulieferstruktur im Bereich Elektromobilität ist vor allem durch spezialisierte Zulieferer für einzelne Komponenten charakterisiert, die häufig über eine gute Wettbewerbsposition verfügen. Zudem existieren in NRW eine Vielzahl von Unternehmen auf vorgelagerten Wertschöpfungsstufen, die indirekt am Wachstumsmarkt der Elektromobilität partizipieren. Hinsichtlich der Positionierung im Feld der Elektromobilität ist die nordrhein-westfälische Automobilindustrie daher weniger in der Breite als vielmehr in der Tiefe der Produktion bestimmter Komponenten orientiert. Chancen für den Automobilstandort NRW bestehen daher insbesondere in der Erschließung und Behauptung von profitablen Nischen und Produktfeldern.

Ein Risiko für die Automobilzulieferindustrie in NRW stellt der mögliche Verlust von Wertschöpfung bei konventionellen Antriebskomponenten dar, der aus der Substitution dieser Komponenten bei Elektrofahrzeugen resultiert. Aufbauend auf dem im dritten Arbeitspunkt erstellten Wertschöpfungsmodell sowie der prognostizierten Nachfrageentwicklung wurde daher die resultierende Marktentwicklung für NRW abgeschätzt, vgl. Abb. 6-7. Dabei wurden die derzeitige Umsatzverteilung und der Anteil der NRW-Automobilindustrie am Gesamtumsatz der Automobilindustrie in der EU zugrunde gelegt und in Relation zur prognostizierten Marktentwicklung der EU gesetzt. Aufgrund einer fehlenden bzw. unzureichenden Datenbasis aus öffentlichen und kostenlos zugänglichen Quellen wurde angenommen, dass der Anteil von NRW am Gesamtumsatz der Automobilindustrie in der EU bis zum Jahr 2025 konstant bleibt und alle Produktfelder im gleichen Anteil an der Gesamtmarktentwicklung partizipieren. Der Nachteil dieser Vorgehensweise besteht allerdings darin, dass vor dem Hintergrund der derzeitigen Wertschöpfungsstruktur in NRW insbesondere das Marktvolumen der Batteriesysteme überschätzt und das der konventionellen Antriebskomponenten unterschätzt wird.

Von einem Nachfragerückgang im Bereich des konventionellen Antriebs wäre der Standort NRW vermutlich überproportional betroffen. Die Automobilzulieferindustrie in NRW verfügt traditionell über eine besonders hohe Kompetenz- und Innovationsstärke bei verbrennungsmotorischen Antrieben sowie den damit zusammenhängenden Systemen wie dem Abgasystem. Zudem werden auch die zunehmende Hybridisierung von Pkw-Antrieben sowie der Trend zum Downsizing von Verbrennungsmotoren Einfluss auf die Geschäftsentwicklung der entsprechenden Zulieferer nehmen. Für diese Unternehmen ist es daher entscheidend, den Einfluss dieser Technologietrends auf ihr Produktportfolio zu analysieren und hinsichtlich der Auswirkungen auf ihr Geschäft zu bewerten, um ggf. frühzeitig neue Kompetenzen und Geschäftsfelder aufbauen zu können.

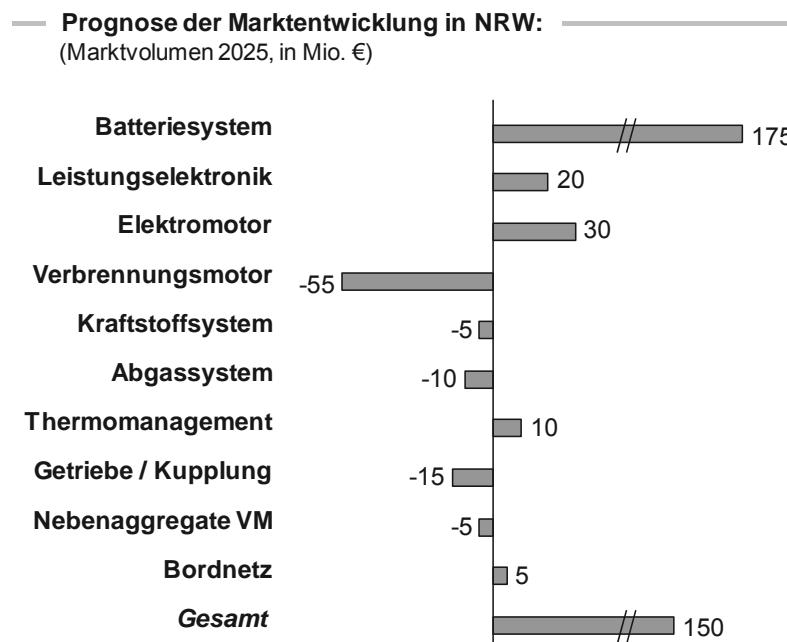


Abb. 6-7: Abschätzung der Marktentwicklung in NRW

Insgesamt besteht für den Automobilstandort NRW die Chance, den potenziellen Nachfragerückgang bei konventionellen Antriebskomponenten durch das zu erwartende Marktwachstum bei elektrischen Antriebskomponenten zu kompensieren. Aufgrund veränderter Kompetenzprofile werden dabei vermutlich Umverteilungseffekte zwischen den Unternehmen stattfinden. In diesem Zusammenhang könnte sich ein fehlender Aufbau von Kompetenzen in der aktuellen Marktphase langfristig negativ auf die Automobilindustrie in NRW auswirken. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass auch zwischen den Automobilstandorten in Deutschland ein Wettbewerb um den Aufbau von elektromobilitätsspezifischen Kompetenzen existiert und aktuell insbesondere Wirtschaftsregionen im Süden und Osten Deutschlands über eine gute Ausgangsposition verfügen.

Weitere Chancen für das Land NRW lassen sich bei einer Betrachtung des Gesamtsystems Elektromobilität identifizieren. Zum einen wird die Elektromobilität die Marktentwicklung in weiteren Fahrzeugdomänen wie der Karosserie oder der Elektrik/Elektronik beeinflussen, zum anderen bestehen auch in anderen Branchen wie dem Maschinen- und Anlagenbau, der Energiebranche oder der IKT-Industrie Wachstumschancen für nordrhein-westfälische Unternehmen. So verfügt NRW z. B. über eine ausgeprägte und wettbewerbsstarke Zulieferstruktur in der Fahrzeugdomäne Karosserie, die aufgrund der steigenden Relevanz von Leichtbau bei Elektrofahrzeugen zukünftig von der Elektromobilität profitieren dürfte. Auch in den anderen o. g. Branchen ergeben sich durch die Elektromobilität vielfältige Ausgangspunkte zur Entwicklung und Vermarktung von neuen Technologien. Entscheidend für die Realisierung dieser Potenziale werden die Vernetzung zwischen den Industrien und die Betrachtung der Elektromobilität als Gesamtsystem sein. Eine abschließende Übersicht der in diesem Unterkapitel beschriebenen Chancen und Risiken für den Automobilstandort NRW zeigt Abb. 6-8.

Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sehr gute Ausgangssituation im Bereich der Forschung und Entwicklung von elektrischen Antriebskomponenten (Hochschulen, Forschungseinrichtungen)</li> <li>▪ Sehr breites thematisches Spektrum an Forschungsaktivitäten</li> <li>▪ Produktions Know-How für elektrische Antriebskomponenten grundsätzlich vorhanden</li> <li>▪ Existenz von Zulieferern mit hohem Spezialisierungsgrad im Bereich einzelner Komponenten</li> <li>▪ Kompensation des Wertschöpfungsverlust bei konventionellen Antriebskomponenten durch Marktwachstum bei elektrischen Antriebskomponenten möglich</li> <li>▪ Elektromobilität ermöglicht Wachstumschancen für Unternehmen aller Fahrzeugdomänen (z.B. Karosserie, Elektrik / Elektronik) sowie anderer Branchen (Maschinen- und Anlagenbau, IKT-Industrie, Energiebranche)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Defizite hinsichtlich der Industrialisierung von Elektrofahrzeugkomponenten (nur prototypische Umsetzung bzw. Anwendung in anderen Industriebereichen)</li> <li>▪ Wertschöpfungslücke insb. hinsichtlich Produktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen*</li> <li>▪ Wertschöpfungskette der Elektromobilität wird aktuell nicht vollständig durch NRW-Unternehmen abgedeckt</li> <li>▪ Keine Serienproduktion von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen eines OEMs in NRW</li> <li>▪ Fehlende Präsenz von Systemzulieferern für Elektromotoren oder Leistungselektroniken</li> <li>▪ Starke Marktposition im Bereich konventioneller Antriebskomponenten, dadurch hoher Wertschöpfungsverlust bei Entfall dieser Komponenten möglich</li> <li>▪ Wirtschaftsstandorte im Süden und Osten Deutschlands mit sehr guter Wettbewerbsposition im Bereich Elektromobilität</li> </ul> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">* Kapazitätsaufbau aufgrund Marktdominanz asiatischer Zellproduzenten aktuell nicht zu empfehlen</p>

Abb. 6-8: Übersicht der identifizierten Chancen und Risiken für NRW

### 6.3 Vergleich der internationalen politischen Fördersituation

Im folgenden Abschnitt wird die internationale politische Fördersituation für Elektromobilität dargestellt. Dabei werden neben Programmen zur Förderung von Forschung und Entwicklung auch monetäre und nicht-monetäre Fördermaßnahmen aufgezeigt.

#### 6.3.1 Staatliche Förderung von Forschung, Entwicklung und Infrastrukturaufbau

In Deutschland wurden in den Jahren 2009 bis 2011 im Rahmen des Konjunkturpakets II Fördergelder in Höhe von 500 Millionen Euro für Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität zur Verfügung gestellt. Seit 2010 erfolgt die Förderung der Elektromobilität auf Basis der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) mit einem Gesamtprojektvolumen von rund eine Milliarden Euro. Vertreter von Industrie, Wissenschaft, Politik, Gewerkschaften und Gesellschaft erarbeiten in diesem Kontext gemeinsam eine Strategie, um Deutschland bis 2020 zum Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. Schwerpunkte sind die Förderung von Forschung und Entwicklung anhand von sechs Leuchtturm-Technologieclustern (Batterie, Antriebstechnologie, Fahrzeugintegration, Leichtbau, Recycling, IKT) sowie die Einrichtung von vier Schaufenster-Projekten mit einem Fördervolumen von 180 Mio. € zur Demonstration der Elektromobilität. In weiteren acht Modellregionen mit insgesamt 2.500 Elektrofahrzeugen wird zudem Ladeinfrastruktur ausgebaut und erprobt. [NPE11]

Frankreich ist in Europa derzeit der größte Markt für Elektrofahrzeuge mit knapp 8.800 verkauften Fahrzeugen in 2013 [CCF14]. In Frankreich wird die Elektromobilität auf Basis des „Lancement du plan national pour le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables“ gefördert. Das Förderprogramm hat ein Volumen von ca. einer Milliarde Euro. Schwerpunkte sind vor allem der Aufbau einer Ladeinfrastruktur, sowohl im privaten Bereich als auch beim Arbeitgeber und im öffentlichen Raum sowie die intelligente Einbindung von Mobilitätsdienstleistungen und die Weiterentwicklung der Batterietechnik inklusive Second-Life-Szenarien [FRA09]. Des Weiteren wurde vom französischen Minister für Energie das Ziel gesetzt, bis 2020 in Frankreich zwei Millionen Elektrofahrzeuge und 4,4 Millionen Lade-stationen zu installieren [ICF12].

Als Teil des „Industria 2015“-Programms fördert Italien industrielle Innovationen sowie die Elektrifizierung von unterschiedlichen Fahrzeugen mit einem Gesamtvolumen von 450 Millionen Euro (davon 180 Millionen Euro aus öffentlicher Hand) [ITA13]. Das Spektrum der innerhalb der Projekte geförderten elektrifizierten Fahrzeuge reicht dabei vom Zweirad (Piaggio: Projekt MUSS) über den Bus (Breda Menarini: Zerofilobus) bis hin zum schweren Nutzfahrzeug (IVECO: LIVE). Die „Italian Electrified Mobility Platform“ mit Vertretern aus Industrie, Forschung und Lehre definiert zudem seit 2010 proaktiv den Innovationsbedarf für effiziente urbane Mobilität und zeigt Wege zu neuen Produkten und Infrastruktur der nächsten fünf bis zehn Jahre auf [IEA14].

Insgesamt wurde die Forschung und Entwicklung für Elektromobilität in der Europäischen Union im Jahr 2013 mit Fördermitteln von ca. 1,4 Milliarden Euro unterstützt. Dabei war rund ein Drittel aller F&E-Ausgaben Deutschland zuzuordnen, siehe Abb. 6-9. Ein weiteres Drittel entfiel auf Mittel der Europäischen Union. Die Batterieforschung, -entwicklung und -fertigung erhielt dabei die größten Zuwendungen.

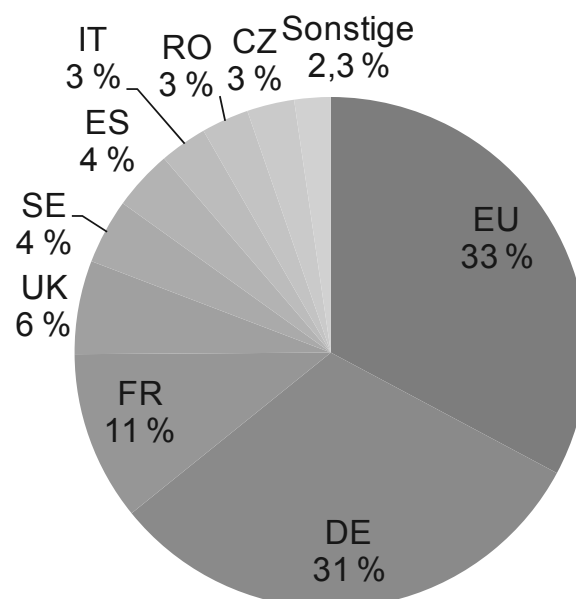


Abb. 6-9: F&E-Ausgaben für Elektromobilität in Europa in 2013 [EUC13]

Mit knapp 100.000 verkauften Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeugen im Jahr 2013 stellen die USA aktuell weltweit den größten Markt für Elektromobilität dar [EDT14]. Mit dem American Recovery Reinvestment Act (ARRA) wurden im Jahr 2009 Subventionen in Höhe von insgesamt 2,4 Milliarden USD bewilligt, davon 1,5 Milliarden USD allein für die Batterieforschung, -fertigung und das -recycling. Darüber hinaus werden durch das „Advanced Technology Vehicles Manufacturing Loan Program“ seit 2008 Automobilherstellern Kredite in Höhe von 17,85 Milliarden Euro für die Entwicklung von effizienteren Fahrzeugen zur Verfügung gestellt. Das übergreifende Ziel ist es, bis zum Jahr 2015 eine Million Elektrofahrzeuge im amerikanischen Fahrzeugbestand zu haben. Um dies zu erreichen, wurden unter anderem der „Electric Drive Vehicle Deployment Act“ und der „Promoting Electric Vehicles Act“ initiiert. Diese sollen durch unterschiedliche Fördermaßnahmen in Modellregionen die Verbreitung der Elektromobilität unterstützen. Im Jahr 2012 wurde zudem die „National Community Deployment Challenge“ gestartet, die mit einem Volumen von einer Milliarde USD Modellregionen beim Ausbau der erforderlichen Infrastruktur unterstützen soll. Die „EV Everywhere Challenge“ hat das Ziel, durch die Förderung der Entwicklung für Elektromobilität elektrisch angetriebene Fahrzeuge einer durchschnittlichen amerikanischen Familie zugänglich zu machen. [ICF12]

In Japan ist die Elektromobilität schon lange Gegenstand öffentlicher Förderung. Erste öffentliche Förderprogramme und -projekte starteten 1970. Bis in die 1990er-Jahre wurden die Forschungsschwerpunkte (insbesondere der Technologietransfer der Li-Ionen-Batterie vom Consumer- in den Automotivebereich) von der Regierung festgelegt. Für japanische Automobilhersteller war daher frühzeitig ein Anreiz zur Entwicklung und Produktion von Hybrid- und Elektrofahrzeugen gegeben. Im Zeitraum von 2008 bis 2011 stellte die japanische Regierung 200 Millionen Euro zur Förderung der Elektromobilität bereit und war damit weltweit eine der ersten Regierungen mit entsprechender Förderung. Neben landesweiten Programmen spielen auch regionsspezifische Programme eine große Rolle. Durch die „New Energy and Industrial Technology Development Organization“ (NEDO) sind seit 2007 umgerechnet 150 Millionen Euro für die Förderung von Forschung und Entwicklung verausgabt worden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der gesamten Wertschöpfungskette der Batterietechnologie für Elektrofahrzeuge, in denen Japan inzwischen weltweit Marktführer ist. Zudem entfällt auf die Entwicklung von Li-Ionen-Batterien das höchste Budget für F&E im Vergleich zu anderen Ländern [ICF12]. Im Bereich Infrastruktur beträgt das Fördervolumen 775 Millionen Euro (ab 2013). Ziel der japanischen Regierung ist, dass bis 2020 15 - 20 % aller neuzugelassenen Fahrzeuge Elektrofahrzeuge oder Plug-In Hybride sind. Bis 2030 soll dieser Anteil auf 20–30 % zunehmen. Japan soll bis 2020 zudem über zwei Millionen Ladepunkte verfügen, davon 5.000 schnellladefähige Stationen. [JAP14]

China hat mit der Förderung alternativer Antriebe während des zehnten Fünf-Jahres-Plans (2001–2005) begonnen, wobei die Bereiche Brennstoffzelle, rein elektrische Antriebe und hybride Konzepte Gegenstand der Förderung waren. Bis 2010 wurden etwa zwei Milliarden RMB (ca. 260 Mio. Euro) an öffentlichen Geldern eingesetzt. Aktuell fördert China als Teil des zwölften Fünf-Jahres-Plans (2011–2015) mit einem Etat von umgerechnet über elf Milliarden Euro die Energieeffizienz, darunter 2,7 Mrd. Euro für energieeffiziente und

elektrische Antriebe, 3,3 Mrd. Euro für die Demonstration von Elektromobilität, 1,1 Mrd. Euro für hybride und andere besonders effiziente Antriebsformen und je 0,5 Mrd. Euro für Komponenten und Infrastruktur. Ziel ist es, kurzfristig 220.000 bzw. langfristig bis 2020 zehn Millionen Ladestationen zu errichten [ICF12]. Der „Energy-saving and new energy vehicle plan“ definiert als Produktionsziel für das Jahr 2015 500.000 Elektrofahrzeuge. Im Jahr 2020 sollen zwei Millionen Fahrzeuge produziert werden. Fokussiert werden Batterietechnologien (Sicherheit, Zuverlässigkeit, Leichtbau, neue Materialien) und Ansätze zur Standardisierung und Modularisierung. Darüber hinaus wird die Weiterentwicklung des Traktionsmotors, der Leistungselektronik und der Nebenaggregate gefördert. Die Erforschung der Brennstoffzellentechnologie wird ebenfalls subventioniert. Landesweit sollen sowohl die Batterieforschung und -herstellung, als auch die Entwicklung und Fertigung von Traktionsmotoren bei zwei bis drei großen Herstellern gebündelt werden. [GCC12]

### 6.3.2 Monetäre Anreize für Kunden

Beim Erwerb eines Elektrofahrzeugs ergeben sich für den Endkunden hohe Anschaffungskosten im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen, die nur teilweise durch die geringeren variablen Kosten kompensiert werden. Um für den Kunden Kaufanreize zu etablieren, bietet sich daher ein ökonomischer Ansatz über die Kosten an. Eine Kostenreduktion kann dabei von staatlicher Seite mit unterschiedlichen Mitteln realisiert werden. Häufig werden Anreize durch Subventionen in Form von Zuschüssen beim Kauf eines Elektrofahrzeugs, einer Reduktion oder ein Entfall der Zulassungs- oder Kfz-Steuer, aber auch über eine reduzierte Firmenfahrzeugsteuer realisiert. Aktuell werden viele dieser Förderungen in Europa und weltweit genutzt, vgl. Abb. 6-10. [ACE14]

Generell unterteilen sich die Kaufanreize in einmalige Subventionen und regelmäßige steuerliche Befreiungen. Der Umfang der Förderungen in den einzelnen Ländern ist häufig abhängig vom jeweiligen Fahrzeugmodell bzw. der installierten Batteriekapazität. Um die Höhe der Anreize zu quantifizieren und eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Ländern zu gewährleisten, wurde als Referenzfahrzeug der Renault Zoe zugrunde gelegt. Angaben zu maximalen Förderungen beziehen sich auf die höchstmöglichen Beträge, die mit anderen Fahrzeugen erreicht werden können.

Direkte Kaufsubventionen werden von der Mehrzahl der Länder angeboten. Beim Kauf eines Elektrofahrzeuges wird ein einmaliger Zuschuss in einer bestimmten Höhe gewährt. Besonders hohe Subventionen bietet derzeit Frankreich mit 7.000 € an. Auch in China, Japan und den USA existieren Programme zur Verkaufsförderung. Dabei werden neben den Subventionen auf nationaler Ebene häufig regional weitere Vergünstigungen angeboten. So werden beispielsweise in Colorado und Georgia neben den allgemeinen staatlichen Subventionen (5.500 €) weitere monetäre Anreize durch die Reduktion der Einkommenssteuer generiert (4.400 € bzw. 3.600 €). [ACE14]

Einmalige Nachlässe beim Kauf werden desweiteren oft über den Entfall der Zulassungssteuer gewährt. Diese lassen sich zwischen den unterschiedlichen Ländern nur schwer

quantifizieren und vergleichen, besonders fällt jedoch Dänemark auf. Hier beträgt die Zulassungssteuer bis zu 180 % des Fahrzeugkaufpreises. Ein Entfall der Zulassungssteuer für Elektrofahrzeuge hat daher besonders hohe Auswirkungen. Im vorliegenden Fall ergibt sich eine Kostendifferenz von 14.000 €. Darüber hinaus bietet auch Norwegen mit einem zusätzlichen Entfall der Mehrwertsteuer vergleichsweise hohe Kaufanreize. [ICC14]

Land	Einmalige Anreize		Steuerliche Befreiung	
	Höhe/ Existenz <sup>1</sup>	Art des Anreizes	Kfz-Steuer	Firmenfahrzeugsteuer
 AT	✓	Entfall Normverbrauchsabgabe	✓	-
 BE	< 2.500 €	Subvention (Wallonien) + Entfall Zul.-steuer	-	✓**
 DE	-	-	✓*	-
 DK	14.000 €	Entfall Zulassungssteuer	-	-
 FI	✓	Minimale Rate Zulassungssteuer	-	-
 FR	7.000 €	Subvention + Entfall Zulassungssteuer	-	✓
 GR	✓	Entfall Zulassungssteuer	✓	-
 UK	5.800 €	Subvention	✓	✓
 HU	✓	Entfall Zulassungssteuer	✓	-
 IE	< 5.000 €	Bonus auf Zulassungssteuer	-	-
 IT	< 5.000 €	Subvention	✓*	-
 LU	5.000 €	Subvention	-	-
 LV	✓	Entfall Zulassungssteuer	-	-
 NL	✓	Entfall Zulassungssteuer	✓	✓
 NO	8.600 €	Entfall Mehrwert-/ Zulassungssteuer	-	-
 PL	✓	Entfall Zulassungssteuer	✓	-
 RO	✓	Entfall Zulassungssteuer	✓	-
 SE	4.500 €	Subvention	✓*	✓**
 CN	6.000 € (max. 7.200 €)	Subvention + weitere regional	✓	-
 JP	4.600 € (max. 6.200 €)	Subvention + Entfall Erwerbssteuer	-	-
 US	5.500 €	Subvention + weitere regional	-	-
 California	1.800 €	Subvention	-	-
 Colorado	< 4.400 €	Einkommenssteuer	-	-
 Georgia	< 3.600 €	Einkommenssteuer	-	-

1) Berechnet für Beispielfahrzeug Renault ZOE

\* zeitlich beschränkt, \*\* steuerliche Vergünstigung

Abb. 6-10: Monetäre Förderung von Elektrofahrzeugen für Endkunden [ACE14, ICC14, TES14]

Neben einmaligen Anreizen werden auch regelmäßige Kostenreduzierungen für Elektrofahrzeuge auf steuerlicher Basis umgesetzt. Die Höhe der Nachlässe, welche durch den Entfall von Kfz- oder Firmenfahrzeugsteuer realisiert werden, ist stark unterschiedlich. Allgemein fallen die Anreize jedoch geringer aus als bei den einmaligen Subventionen und Erlässen.

Stellt man Deutschland in einen internationalen Vergleich der Förderungen von Elektrofahrzeugen bezogen auf den Endkunden, so ist festzustellen, dass diese vergleichsweise gering bemessen sind. Zwar wird eine zehnjährige Befreiung von der Kfz-Steuer gewährt, im Gegensatz zu einmaligen Kaufanreizen von mehreren tausend Euro in vielen anderen Ländern fällt diese Vergünstigung jedoch vergleichsweise gering aus. [NPE11]

### 6.3.3 Nichtmonetäre Anreize für Endkunden

Neben den monetären Anreizen existieren von öffentlicher Seite weitere Möglichkeiten, Elektrofahrzeuge für den Endkunden attraktiver zu gestalten, die jedoch schwer bzw. nicht zu quantifizieren sind. Allgemein kann die Schaffung von zusätzlichen nichtmonetären Anreizen ein wirksames Instrument zur Steigerung der Nachfrage von Fahrzeugen mit elektrischen Antrieben darstellen. Das Einsatzgebiet und -szenario der Fahrzeuge entscheiden dabei wesentlich über die Effektivität dieser Anreize. Speziell in überfüllten Großstädten ist die Nutzung von Busspuren von Relevanz, während für Pendler auf Zubringerstraßen eine Mautbefreiung die Kaufentscheidung für ein Elektrofahrzeug positiv beeinflussen kann. Abb. 6-11 zeigt eine Übersicht verschiedener Instrumente. Die meisten dieser Instrumente werden auf kommunaler Ebene installiert.

Nichtmonetärer Kaufanreiz	Beispiele
Nutzung von zusätzlichem Verkehrsraum	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzung von Bus- bzw. Taxispuren</li> <li>▪ Nutzung von „High Occupancy Vehicle Lanes“</li> </ul>
Befreiung von Mautgebühren	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Innenstadtmaut</li> <li>▪ Maut für Zubringer-, Ringstraßen</li> <li>▪ Mautgebühren für Tunnel, Brücken</li> </ul>
Ausnahmen von Zugangsbeschränkungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schadstoffbedingte Zugangsbeschränkung</li> <li>▪ Staubbedingte Zugangsbeschränkung</li> </ul>
Ausnahmen von Zulassungsbeschränkungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Begrenzung der Neuzulassungen für konventionelle Fahrzeuge (z.B. in China)</li> </ul>
Nutzung von Ladeinfrastruktur und Parkplätzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kostenlose Nutzung (z. B. beim Arbeitgeber)</li> <li>▪ Vergünstigte Nutzung</li> </ul>
Kommunikation von Elektromobilität	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Durchführung von Informationskampagnen</li> <li>▪ Durchführung von Veranstaltungen</li> <li>▪ Etablierung eines Elektrofahrzeug-Carsharings</li> </ul>

Abb. 6-11: Kategorisierung von nichtmonetären Kaufanreizen

High Occupancy Vehicle Lanes (HOV-Spuren) haben ihren Ursprung in den USA Anfang der 1970er Jahre und sind heutzutage in vielen amerikanischen Staaten verbreitet. Je nach Gesetzgebung dürfen HOV-Lanes nur von Fahrzeugen, die mit mindestens zwei bis drei Personen besetzt sind befahren werden. Es gibt häufig Ausnahmen für Motorräder, Busse, Car-Sharing-Flottenfahrzeuge und „Green Vehicles“. In Europa sind HOV-Spuren deutlich weniger verbreitet. Die meisten befinden sich in Norwegen und Schweden und werden hier zur Incentivierung von Elektrofahrzeugen genutzt.



Die Freigabe von Busspuren für Elektrofahrzeuge ist in einigen Städten zurzeit Gegenstand von Diskussionen. In den meisten Fällen ist die Verkürzung der Fahrtzeit zu gering, um Nachteile wie eine Beeinträchtigung des Busverkehrs oder eine Erhöhung der Unfallgefahr in Kauf nehmen zu können [LON10]. Oslo bemerkt aktuell bereits die negativen Effekte der Incentivierung. Aufgrund der hohen Verbreitung von Elektrofahrzeugen steigt deren Anteil an allen Fahrzeugen auf der Busspur zu Spitzenzeiten auf bis zu 75 %. [QUA13]

In vielen europäischen Städten sind Zugangsbeschränkungen für Innenstädte bereits Realität und tragen je nach Implementierung zur Reduktion der Schadstoffbelastung und/oder zur Verringerung der Überfüllung bei. In Großbritannien, Schweden und Norwegen wird die Zugangsbeschränkung in manchen Städten mit einer Innenstadtmaut kombiniert. Ein Erlass dieser Maut erfolgt z. B. in London unterhalb eines CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von 75 g/km sowie für alle Plug-In-Fahrzeuge. [LON14]

Im internationalen Vergleich zählen vor allem chinesische Großstädte zu den Gebieten mit der höchsten Luftverschmutzung. Weltweit gilt Peking als Stadt mit der schlechtesten Luftqualität. Daher wird die Zulassung von Pkw in der chinesischen Hauptstadt seit 2011 über eine Lotterie geregelt. In China muss vor dem Erwerb eines Neuwagens eine Lizenz zum Kauf erworben werden. Diese Lizenz wird in Peking über eine Lotterie vergeben. Bei konventionellen Fahrzeugen liegt die Chance bei weniger als einem Prozent, eines der 130.000 Kennzeichen (Jahr 2014) zu erhalten. Gleichzeitig sind 20.000 Kennzeichen pro Jahr für Elektrofahrzeuge reserviert. Da zurzeit lediglich ca. 1.700 dieser Kennzeichen tatsächlich vergeben werden, existiert de facto eine Zulassungsgarantie und damit ein besonders hoher Anreiz [CHN14]. Darüber hinaus existiert in einigen chinesischen Städten je nach Wochentag eine Zugangsbeschränkung in Abhängigkeit von der letzten Zahl im Fahrzeugkennzeichen. Hiervon sind elektrifizierte Fahrzeuge ebenfalls ausgenommen.

Vor dem Hintergrund stark begrenzter Parkinfrastruktur in Großstädten sind Parkprivilegien für Elektrofahrzeuge wirkungsvoll und einfach zu implementieren. Die Kombination mit einer gut ausgebauten Ladeinfrastruktur wird in Deutschland von der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) als ein wichtiges Argument für potenzielle Käufer zur Anschaffung eines Elektrofahrzeugs angesehen. Die Strategie soll daher auch in Deutschland weiter verfolgt werden. [NPE11]

Aufgrund fehlender Erfahrungen sind vielen potenziellen Käufern die Eigenschaften sowie die Vorteile von elektrischen Fahrzeugen nicht bewusst. Technische Unterschiede zu konventionellen Fahrzeugen, vor allem die geringere Reichweite, werden häufig thematisiert. Zu einer direkten Auseinandersetzung mit dem Themengebiet Elektromobilität kommt es jedoch weitaus seltener. Informationskampagnen, Erlebnisveranstaltungen oder auch die Nutzung von Carsharing-Angeboten, die das Thema Elektromobilität bewusst erfahrbar machen, sind daher als ein weiterer wichtiger nichtmonetärer Anreiz anzusehen. Für viele Menschen, die zum ersten Mal ein Elektrofahrzeug fahren, sind das hohe und unmittelbare Beschleunigungsvermögen aus dem Stand sowie das geringere Geräuschniveau gegenüber einem ver-

gleichbaren verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeug positive Erfahrungen, die eine Kaufentscheidung begünstigen können.

#### **6.3.4 Bewertung der Fördermaßnahmen**

In den vorhergehenden drei Unterkapiteln wurden verschiedene staatliche Maßnahmen aufgezeigt, die derzeit international zur Förderung der Elektromobilität eingesetzt werden. Im Folgenden wird die Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen für NRW diskutiert, die grundsätzlich in angebots- und nachfrageseitige Maßnahmen unterteilt werden können.

Die staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung wirkt primär auf die Angebotsseite des Marktes für Elektromobilität. In NRW wurde in den vergangenen Förderperioden mehr als 60 Mio. € aus Landes- und EU-Mitteln in die F&E-Förderung im Bereich Elektromobilität investiert. Insgesamt wurden dadurch 29 Projekte mit einem Gesamtvolumen von ca. 115 Mio. € gefördert. Die Förderung erfolgte dabei im Wesentlichen im Rahmen von Förderwettbewerben (z. B. ElektroMobil.NRW), wobei die Themen der geförderten Projekte das gesamte Spektrum der Elektromobilität abdecken. Neben dem Förderinstrument der Wettbewerbe wurden weitere öffentliche Mittel zum Auf- und Ausbau von Prüf- und Testinfrastruktur verwendet. So wurde z. B. das Batteriezentrum MEET in Münster mit finanzieller Förderung durch die Universität Münster, dem Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes NRW (im Rahmen des „NRW.Ziel 2“-Programms), des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes NRW sowie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgebaut. Darüber hinaus existieren innerhalb der von den vier Bundesministerien BMVI, BMU, BMBF und BMWi geförderten Modellregion Rhein-Ruhr weitere elf Projekte mit Schwerpunkten im Bereich der anwendungsnahen Entwicklung sowie der regionalen Demonstration von Elektromobilität. In diesem Zusammenhang wird auch der Aufbau von Ladeinfrastruktur in NRW gefördert. Dabei wurden innerhalb der zwei Phasen der Modellregion mehr als 900 Ladepunkte aufgebaut, so dass durch die Projekte der Modellregion sowohl die Angebots- als auch die Nachfrageseite für Elektromobilität gefördert wird. [AUT14]

Im internationalen Vergleich ist die staatliche Förderung von Forschung, Entwicklung und Infrastrukturaufbau für Elektromobilität in NRW insgesamt gut ausgeprägt. Bei der zukünftigen Ausrichtung der Förderpolitik müssen allerdings die veränderten Rahmenbedingungen des Elektromobilitätsmarktes berücksichtigt werden. Da mittlerweile von verschiedenen Fahrzeugherstellern Elektrofahrzeuge am Markt verfügbar sind, sollten Fördermaßnahmen zur Kundenakzeptanz und zur Unterstützung des Markthochlaufs (z. B. Untersuchung und Erprobung von Geschäftsmodellen, Abrechnungskonzepte für Ladesäulen, Einbindung in Mobilitätskonzepte, Mobilitätsdienstleistungen) einen Schwerpunkt darstellen. Darüber hinaus sollten die Optimierung des Gesamtsystems Elektromobilität (Vernetzung von Energieerzeugung und -versorgung, Automobilindustrie, IKT-Industrie und Verkehrssystemen) und die technologische Weiterentwicklung der Fahrzeugkomponenten und des Gesamtfahrzeugs (z. B. Thermomanagement für Elektrofahrzeuge, Leichtbau) Schwerpunkte der zukünftigen Förderaktivitäten bilden. Des Weiteren sollte die Produktion von elektrischen Antriebskompo-

nenten im Rahmen von Förderprojekten schwerpunktmäßig weiterentwickelt werden. In diesem Zusammenhang stellt auch die bereits umgesetzte Vergabe von Krediten mit vergünstigten Konditionen (z. B. NRW.Bank.Elektromobilität) an produzierende Unternehmen im Bereich Elektromobilität eine Maßnahme dar, um die Produktion von Elektromobilitätskomponenten zu fördern. Dadurch können insbesondere innovative kleine und mittelständische Unternehmen unterstützt werden, für die die Beschaffung von Investitionsmitteln auf den Kapitalmärkten zunehmend problematisch ist.

Um die langfristige Wettbewerbsfähigkeit des Elektromobilitätsstandortes NRW zu stärken, sollte der Umfang der staatlichen Forschungsförderung beibehalten werden. Die Förderung von Forschungseinrichtungen und Hochschulen ist dabei im Hinblick auf die demographische Entwicklung von zentraler Bedeutung, um qualifizierte Fachkräfte in NRW aufzubauen und so die Standortattraktivität nachhaltig zu erhöhen. Optimierungspotenziale der F&E-Förderung bestehen insbesondere hinsichtlich des Informationsaustausches und der Koordination zwischen den Projekten. So sollte sowohl der Austausch zwischen Wissenschaft und Unternehmen als auch zwischen Unternehmen unterschiedlicher Branchen und Wertschöpfungsstufen intensiviert und optimiert werden. Darüber hinaus sollte die Zugänglichkeit zu den Förderwettbewerben insbesondere für kleine Unternehmen erleichtert werden, da die administrativen Anforderungen die Kapazitäten dieser Unternehmen häufig überlasten.

Neben der Förderung von Forschung und Entwicklung kann auch die Nachfrage nach Elektrofahrzeugen staatlich durch verschiedene monetäre und nicht-monetäre Instrumente unterstützt werden. Im internationalen Vergleich, s. Kap. 6.3.2, wird die Anschaffung von Elektrofahrzeugen teilweise mit sehr hohen Subventionen gefördert. Demgegenüber existiert in Deutschland mit dem Entfall der Kfz-Steuer für Elektrofahrzeuge lediglich ein geringer finanzieller Kaufanreiz. Die Wirksamkeit dieser Fördermaßnahmen ist allerdings umstritten. Bei einem Vergleich der internationalen Marktentwicklung für Elektrofahrzeuge ist kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Subventionshöhe und Marktvolumen bzw. -wachstum zu erkennen. Abb. 6-12 stellt das Marktwachstum für BEVs (Privat- und Firmenfahrzeuge) in Abhängigkeit der monetären Förderung dar. Dabei wurden neben direkten Subventionen und steuerlichen Erleichterungen bzw. Befreiungen für Elektrofahrzeuge auch die Unterschiede zwischen Kraftstoff- und Stromkosten auf der Basis einer TCO-Betrachtung berücksichtigt.

Grundsätzlich ist ein positiver Einfluss der monetären Förderung auf die Marktentwicklung festzustellen. Beispiele für eine sehr erfolgreiche BEV-Marktentwicklung in Kombination mit einer hohen monetären Förderung existieren in Norwegen sowie in Kalifornien. Auf der anderen Seite weisen gleichzeitig aber auch Märkte mit einer vergleichsweise hohen Förderung, wie Dänemark oder Großbritannien, lediglich eine unterdurchschnittliche Marktentwicklung auf. Zudem ist teilweise auch in Märkten mit geringen monetären Kaufanreizen ein überdurchschnittliches Marktvolumen (z. B. Niederlande) bzw. ein vergleichsweise hohes Marktwachstum (ausgehend von einem niedrigen Niveau z. B. in Deutschland) zu erkennen. Eine direkte Kausalität zwischen monetärer Förderung der Nachfrage und Marktentwicklung kann daher nicht abgeleitet werden.

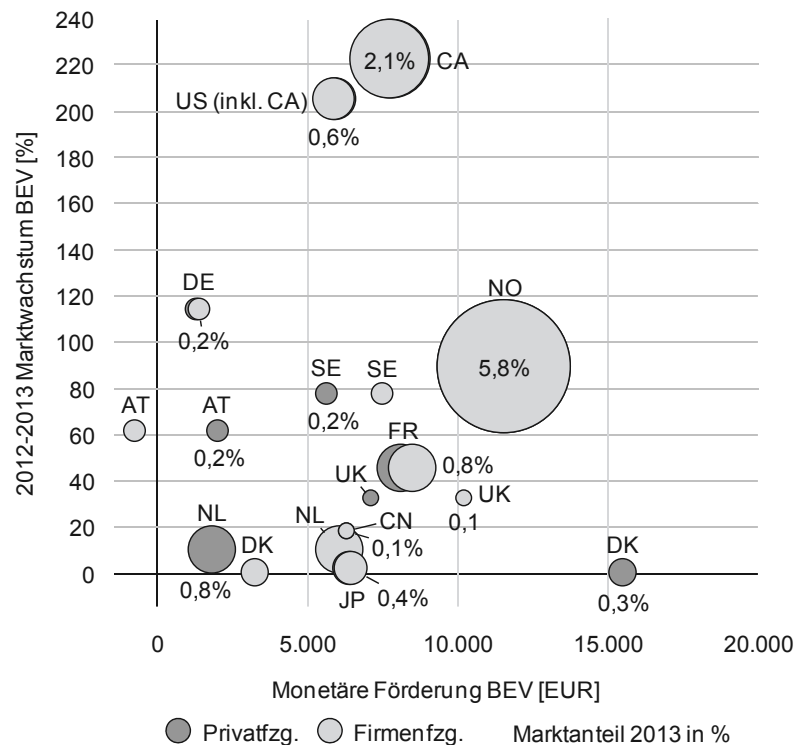


Abb. 6-12: BEV-Marktentwicklung in Abhängigkeit der monetären Förderung [ICC14]

Neben der Höhe der Förderung kann auch die Ausgestaltung der Förderung Einfluss auf die Marktentwicklung nehmen. Dabei besteht zunächst die Frage, welche Nutzergruppen (Privat- vs. Geschäftskunden) durch die Förderung berücksichtigt werden. Zudem besteht die Möglichkeit, lediglich eine Förderung für einzelne Antriebsvarianten (z. B. batteriebetriebene Elektrofahrzeuge) oder eine technologie neutrale Förderung umzusetzen. In diesem Zusammenhang muss auch die Bemessungsgrundlage für die Förderhöhe festgelegt werden. So können z. B. durch eine Förderung in Abhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Emissionen Plug-In-Hybridfahrzeuge aufgrund der geringeren Anschaffungskosten relative Vorteile gegenüber batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen erlangen.

Darüber hinaus besteht bei einer direkten Subventionierung von Elektrofahrzeugen die Gefahr, dass Fehlanreize geschaffen werden. Aufgrund der derzeit noch hohen Anschaffungskosten von Elektrofahrzeugen sowie der frühen Marktphase dieser Technologie bestehen die Käufergruppen vor allem aus solventen Käufern mit einer hohen Technologieaffinität. Diese Käufergruppe ist nicht repräsentativ für den Gesamtmarkt, so dass eine nachhaltige Aktivierung eines Massenmarktes mit diesen Maßnahmen ggf. nicht möglich ist. In einer langfristigen Betrachtung können Märkte zudem nur ohne Subventionen durch das Angebot von konkurrenzfähigen Produkten stabil funktionieren.

Im Hinblick auf nicht-monetäre Maßnahmen zur Förderung der Nachfrage nach Elektrofahrzeugen werden international bereits vielfältige Ansätze umgesetzt. Diese können in infra-

strukturelle (z. B. Nutzung von Sonderspuren, Nutzung von Ladeinfrastruktur) und sonstige Maßnahmen (z. B. Informationsveranstaltungen) unterteilt werden. Dabei existieren in Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern bislang nur wenige infrastrukturelle Maßnahmen (z. B. Parken vor Ladesäulen). Mit dem Entwurf des Elektromobilitätsgesetzes (EmoG, Stand Juli 2014) werden allerdings verschiedene Sonderregelungen für Elektrofahrzeuge vorgeschlagen. Diese betreffen Sonderparkregelungen, Ermäßigungen der Parkgebühren, Ausnahmen von Zufahrtsbeschränkungen oder Durchfahrverboten sowie die Nutzung von Sonderfahrspuren.

Insbesondere die Nutzung von Sonderfahrspuren wie Bus- bzw. Taxispuren ist in einigen Ländern bereits seit längerer Zeit für Elektrofahrzeuge zulässig und stellt einen nachweislichen Kaufanreiz dar. Allerdings können die Erfahrungen aus anderen Ländern nur bedingt auf Deutschland übertragen werden. So können die High Occupancy Vehicle (HOV) Lanes in den USA auch von Fahrgemeinschaften und teilweise von Hybridfahrzeugen genutzt werden. Zudem sind die Rahmenbedingungen bezüglich der Überlastung der Verkehrsinfrastruktur in Großstädten sowie der flächendeckenden Verfügbarkeit des öffentlichen Personennahverkehrs nicht mit Deutschland vergleichbar. In Europa existieren u. a. in Oslo Sonderregelungen für Elektrofahrzeuge zur Nutzung von Busspuren. Aufgrund des vergleichsweise hohen Marktanteils von Elektrofahrzeugen (landesweit ca. 6 %) wird zu Spitzenzeiten 75 % des Verkehrs auf diesen Spuren von Elektrofahrzeugen verursacht, so dass Verspätungen im Busverkehr resultieren. Die Umsetzung dieser Maßnahme ist daher insbesondere vor der Zielsetzung eines zukünftigen Massenmarktes für Elektromobilität in Deutschland problematisch und kann neben negativen Auswirkungen auf die Verkehrseffizienz ggf. auch die Verkehrssicherheit (Nutzung von Busspuren durch Fahrradfahrer) beeinträchtigen. Problematisch bei dem vorgelegten Gesetzesentwurf ist zudem die Gleichstellung von Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeugen, da für letztere Kategorie ein deutlich schnellerer Markthochlauf mit großen Stückzahlen erwartet wird.

## **6.4 Ableitung von Handlungsempfehlungen**

Im folgenden Abschnitt werden Handlungsempfehlungen für die nordrhein-westfälischen Automobilzulieferer, für die Interessensvertreter der Wirtschaftsförderungen sowie für relevante politische Akteure aufgezeigt, um die Attraktivität des Elektromobilitätsstandortes NRW zu erhöhen.

### **6.4.1 Handlungsempfehlungen für Unternehmen**

Für die etablierten Unternehmen der Automobilindustrie in NRW beinhaltet der Wandel von konventionellen Antriebstechnologien zur Elektromobilität sowohl Chancen als auch Risiken. Dabei müssen sich insbesondere Zulieferer von konventionellen Antriebskomponenten auf umfassende Veränderungen einstellen. Darüber hinaus hat die Elektromobilität aber auch Auswirkungen auf Zulieferer aller Fahrzeugdomänen sowie Unternehmen anderer Branchen. Zur Sicherstellung eines nachhaltigen Wachstums sowie der langfristigen Existenz der Unternehmen muss die Elektromobilität explizit in den Unternehmens- und Technologie-

strategien berücksichtigt werden. Da die Ableitung und Entwicklung von strategischen Handlungsoptionen grundsätzlich nur unternehmensspezifisch möglich ist, werden im Folgenden allgemeingültige Handlungsempfehlungen für Unternehmen aufgezeigt.

In einem ersten Schritt sollte die Positionierung des Unternehmens hinsichtlich der Elektromobilität analysiert werden. Ein Ausgangspunkt dafür stellt die Technologie- und Produktstrategie des eigenen Unternehmens im Markt- und Wettbewerbsumfeld dar. Bei der Technologieentwicklungsstrategie kann zwischen einer reaktiven Technologieentwicklung, die in der Regel durch Kundennachfragen ausgelöst wird, und einer proaktiven Technologieentwicklung unterschieden werden. Die Produktstrategie beeinflusst u. a. das Produktportfolio, das grundsätzlich spezialisiert oder diversifiziert ausgeprägt sein kann, vgl. Abb. 6-13.

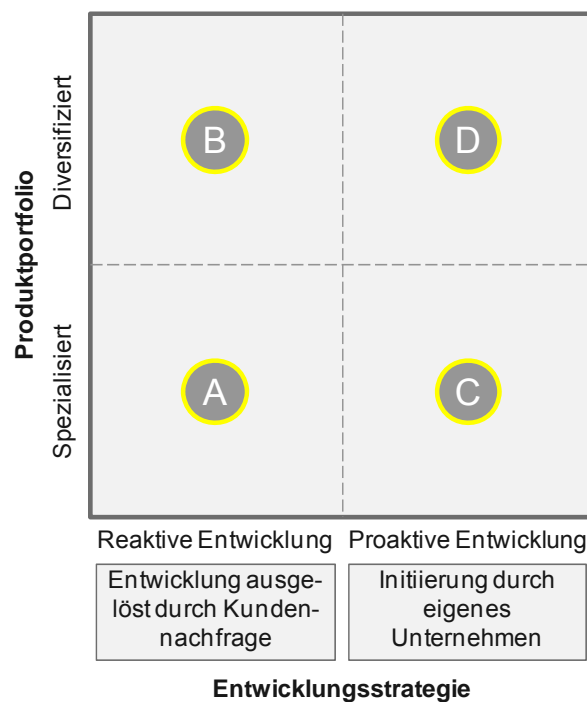


Abb. 6-13: Kategorisierung von Unternehmen nach Technologie- und Produktstrategie

Für Unternehmen mit einem spezialisierten Produktportfolio und einer reaktiven Technologieentwicklung (Kategorie A) besteht langfristig ein grundsätzliches Gefährdungspotenzial bei der Spezialisierung auf konventionelle Antriebskomponenten, sofern nicht durch aktive Strategien und die frühzeitige Umsetzung entsprechender Maßnahmen gegengesteuert wird. Zudem können neue Geschäftsfelder durch die Elektromobilität gegebenenfalls nicht oder erst zu spät erkannt werden. Bei Unternehmen der Kategorie B erfolgt häufig keine aktive Marktpositionierung im Bereich Elektromobilität, so dass Möglichkeiten für eine weitere Produktdiversifizierung unter Umständen nicht erkannt bzw. genutzt werden. Unternehmen mit einer proaktiven Technologieentwicklung und einem spezialisierten Produktportfolio (Kategorie C) führen Entwicklungen häufig auf der Basis existierender Produkt- oder Produktionskompetenzen durch. Eine aktive Erschließung des Technologiefelds Elektromobilität erfolgt dabei oft nur in Nähe zum aktuellen Produktportfolio. Zu den Unternehmen der Kategorie D ge-

hören vor allem größere Automobilzulieferer mit einem diversifizierten Produktangebot, die zudem über ausreichende finanzielle und personelle Ressourcen zur internen oder externen Technologieentwicklung verfügen. Neben der Technologie- und der Produktstrategie sollte bei der Analyse der Positionierung des Unternehmens im Themenfeld Elektromobilität auch die derzeitige Position innerhalb der Wertschöpfungskette betrachtet werden, da auch Unternehmen nachgelagerter Wertschöpfungsstufen von Veränderungen durch die Elektromobilität betroffen sein könnten.

In einem zweiten Schritt sollten die Auswirkungen der Elektromobilität für das spezifische Unternehmen analysiert werden. Aufgrund der aktuell noch unsicheren Marktentwicklung für Elektrofahrzeuge ist dabei eine szenarienbasierte Prognose der Umsatz- und Ergebniseffekte für das jeweilige Unternehmen durchzuführen. Darauf aufbauend sollte in einem weiteren Schritt eine Bewertung und Priorisierung des Themenfelds Elektromobilität sowie der daraus resultierenden Technologiefelder für das Unternehmen durchgeführt werden. Diese Entscheidung bildet die Grundlage, um die strategische Entwicklungsrichtung des Unternehmens festzulegen.

Im Hinblick auf das Batteriesystem ist generell eine selektive Erschließung einzelner Komponenten zu empfehlen. Aufgrund der derzeitigen Dominanz asiatischer Zulieferer bei der Batteriezellproduktion sowie des starken Preisverfalls bei Batteriezellen ist die Produktion von Batteriezellen am Standort NRW derzeit als nicht sinnvoll zu bewerten. Auch hinsichtlich der vorgelagerten Wertschöpfungsstufen ist die regionale Konzentration aufgrund der Lokalisierung der Produktionskapazitäten für Batteriezellkomponenten problematisch. Potenziale bestehen hingegen bei der Produktion von Batteriemodulen und des Batterie-Packs einschließlich der dafür erforderlichen Komponenten. Die Produktion des Batterie-Packs und der -Module erfolgt heute entweder durch den OEM (z. B. Volkswagen, BMW) oder durch den Zulieferer der Zellen. Die Belieferung von OEMs mit Komponenten zur Modul- und Batterie-Pack-Produktion (z. B. Sensorik, Elektronik, Gehäuse, Kühlsysteme) bietet daher eine Möglichkeit zur Erweiterung des Produktportfolios. Ein weiterer Ansatz besteht darin, die Produktion des Batteriemoduls und des -packs in Verbindung mit einem Zukauf der Batteriezellen abzudecken und dadurch als Systemzulieferer für den OEM zu fungieren. Vor dem Hintergrund der aktuellen Wertschöpfungsstrategien der Fahrzeughersteller ist dieser Ansatz zwar mit einem hohen Risiko verbunden, bietet aber das höchste Wertschöpfungspotenzial für Zulieferer. Entscheidend für den Markterfolg wird dabei die Realisierung von Alleinstellungsmerkmalen gegenüber den bereits etablierten Batteriezulieferern (z. B. Panasonic, Samsung) sein.

Auch im Bereich des Elektromotors können durch die Produktion von Komponenten Werteschöpfungspotenziale für Zulieferer erschlossen werden. Aktuell wird die Produktion von Elektromotoren entweder vollständig durch Fahrzeughersteller (z. B. BMW oder Volkswagen) oder durch Systemzulieferer (z. B. Bosch, Continental) abgedeckt. Mittelfristig ist zu erwarten, dass insbesondere die Fahrzeughersteller verstärkt Einzelkomponenten oder Module von entsprechenden Zulieferern beziehen. Davon können Komponentenzulieferer profitieren, die sich auf einzelne Bauteile (z. B. Elektrobleche, Blechpakete, Magnete,

Wellen) spezialisieren. Zudem besteht bei einer weiteren Reduktion der Fertigungstiefe die Möglichkeit für Zulieferer, vormontagefähige Module (z. B. Stator inkl. Gehäuse, Rotor) anzuliefern. Da die etablierten Systemzulieferer bereits über eine starke Marktposition bei Elektromotoren für Elektro- und Hybridfahrzeuge verfügen, ist für neue Akteure der Aufbau von Systemkompetenzen bei Elektromotoren aktuell nicht zu empfehlen. Allerdings werden derzeit auch alternative elektrische Motorenkonzepte (z. B. geschaltete Reluktanzmaschinen) für Elektrofahrzeuge im Rahmen von Forschungsprojekten untersucht. Sofern sich diese Technologien zukünftig am Markt durchsetzen, können Unternehmen, die frühzeitig entsprechende Kompetenzen aufbauen, Wettbewerbsvorteile gegenüber Systemzulieferern erlangen.

Bei der Leistungselektronik sind die derzeitigen Wertschöpfungsstrategien vergleichbar mit der von Elektromotoren. Dabei wird die Produktion entweder durch Fahrzeughersteller (z.B. BMW oder Nissan) oder Systemzulieferer (z.B. Bosch, Continental) vorgenommen. Die Produktion der Komponenten (z. B. Kondensatoren, Dioden, IDBTS) erfolgt in der Regel durch spezialisierte Zulieferer, die in der Regel nicht nur die Automobilindustrie beliefern. Potenziale zur Erschließung von neuen Wertschöpfungsumfängen bestehen durch die Integration von Wertschöpfungsstufen, die der Komponentenproduktion vorgelagert sind. So können z. B. Module wie die Steuerungselektronik oder das Leistungsmodul von Zulieferern produziert werden. Darüber hinaus bestehen auch Wertschöpfungspotenziale durch die Produktion von Peripheriekomponenten wie dem Kühlsystem. Aufgrund der zunehmenden Integration der Leistungselektronik in den Antrieb ist die Entwicklung zu einem Systemzulieferer nur für Unternehmen zu empfehlen, die über Kompetenzen bei Elektromotoren sowie ein ausreichendes Gesamtsystemverständnis verfügen.

Zur Erschließung von neuen Technologien für Unternehmen im Rahmen einer aktiven Entwicklungsstrategie existieren grundsätzlich verschiedene Handlungsoptionen. Neben einem ausschließlich unternehmensinternen Aufbau von Kompetenzen sollte bei der Elektromobilität auch der externe bzw. der gemeinsame Kompetenzaufbau mit Kooperationspartnern in Betracht gezogen werden. Ursächlich dafür ist zum einen der interdisziplinäre Charakter der Elektromobilität, der in vielen Bereichen domänenübergreifendes Wissen erfordert. Zum anderen können so die im Elektromobilitätsbereich existierenden Forschungs- und Entwicklungsrisiken und die damit zusammenhängenden finanziellen Risiken auf mehrere Unternehmen aufgeteilt werden. In Abhängigkeit der Entwicklungsphase kann dabei die Kooperation mit unterschiedlichen Partnern wie Forschungsinstituten, Entwicklungsdienstleistern, Zulieferern oder Abnehmern sinnvoll sein.

Insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen ist die Bildung von Unternehmensnetzwerken bzw. die Teilnahme an unternehmensübergreifenden Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, z. B. im Rahmen von öffentlichen Projekten, allerdings häufig problematisch und mit einem hohen Aufwand verbunden. Darüber hinaus existieren oft keine direkten Geschäftsbeziehungen und somit in der Regel auch keine Kommunikationskanäle zu den Fahrzeugherstellern, so dass Informationsdefizite zwischen KMUs und OEMs bestehen. Die Reduktion der Informationsdefizite sowie die stärkere Einbindung von KMUs in



die Forschungs- und Entwicklungsnetzwerke sollte daher von den größeren Automobilzulieferern sowie den Fahrzeugherstellern verfolgt werden, um das Innovationspotenzial dieser Unternehmen nutzen zu können. Des Weiteren können an dieser Stelle bestehende Netzwerke, z. B. AutoCluster.NRW, eine wichtige Rolle bei der Reduzierung der Informationsdefizite einnehmen und aktive Aufklärung durch verschiedene Instrumente, z. B. spezifische Veranstaltungen, vorantreiben.

#### **6.4.2 Handlungsempfehlungen für Wirtschaftsförderungen**

Allgemein ist es Aufgabe von Wirtschaftsförderungen, die Standortattraktivität für Unternehmen der Elektromobilität auf regionaler oder lokaler Ebene zu erhöhen. Grundlage für die Entwicklung einer Strategie und die Ableitung von Fördermaßnahmen ist eine Analyse des Wirtschaftsstandortes. Hierbei werden bereits ansässige Unternehmen sowie Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen betrachtet und Kompetenzen, Schwerpunkte und Lücken entlang der Wertschöpfungskette von Elektrofahrzeugen aufgezeigt. So können z. B. gut ausgebildetes Personal, regionale Unternehmenscluster oder eine gut ausgebaute Infrastruktur wichtige Standortfaktoren darstellen. Auf dieser Grundlage können geeignete Maßnahmen zum Auf- oder Ausbau von Stärken und zur Verringerung oder Beseitigung von Schwächen oder Lücken abgeleitet werden.

In diesem Zusammenhang stellt auch die Erhöhung der Sichtbarkeit von spezialisierten klein- und mittelständischen Unternehmen durch gezielte Außendarstellung eine Aufgabe der Wirtschaftsförderungen dar. Spezialisten im Bereich der Schlüsseltechnologien sollen somit von anderen Unternehmen in der Automobilbranche schneller wahrgenommen und als Partner in Netzwerke integriert werden.

Insbesondere im Bereich der Elektromobilität ist die regionale und überregionale Vernetzung der relevanten Akteure -sowohl innerhalb der Industrie, im Verbund mit Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen als auch branchenübergreifend- essentiell und kann von Wirtschaftsförderungen maßgeblich vorangetrieben werden. Grundsätzlich zeichnet sich die Elektromobilität durch eine hohe Interdisziplinarität aus. Fahrzeugtechnik, Energietechnik, Informations- und Kommunikationstechnik haben jeweils einen Beitrag zur Entwicklung und zum künftigen Markterfolg von elektrischen Fahrzeugen. Regionale Aktivitäten zwischen diesen Bereichen sollten hierfür von den Wirtschaftsförderungen koordiniert werden, z. B. durch die Bildung von themenübergreifenden Clustern mit Partnern aus regionaler Industrie und Wissenschaft.

Darüber hinaus kann auch die Zusammenarbeit der Wirtschaftsförderungen untereinander eine Maßnahme darstellen, um die Aktivitäten der Wirtschaftsstandorte im Bereich Elektromobilität zu bündeln bzw. das Aktivitätsspektrum zu erweitern. In diesem Kontext ist der gegenseitige Erfahrungs- und Informationsaustausch zwischen den Wirtschaftsförderungen von großer Bedeutung. Zudem können durch die Initiierung und Koordination von Kooperationsvereinbarungen bzw. Verbundprojekten zwischen Unternehmen und durch die Vernetzung mit Clustern auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene Potenziale erschlossen wer-

den, die bei einer ausschließlich regionalen Betrachtung nicht existieren. Eine Maßnahme dazu ist die Beteiligung an überregionalen und europäischen Projekten. Dabei können Wirtschaftsförderungen insbesondere in den frühen Phasen der Projektanbahnung und -akquisition die regionalen Unternehmen unterstützen.

Je nach Umfang der zur Verfügung stehenden Mittel kann die Durchführung von eigenen Projekten oder Studien für regionale Wirtschaftsförderungen ein wirksames Mittel darstellen, um einerseits neue Erkenntnisse z. B. im Flottenbetrieb zu gewinnen, und andererseits die Wahrnehmung der Elektromobilität in der Öffentlichkeit zu verbessern. Eine Kooperation mit Energieversorgern, lokalen Carsharing-Unternehmen, Handwerksbetrieben oder Kommunen mit Einsatz der Fahrzeuge im städtischen Raum ist hierbei sinnvoll.

Hinsichtlich der Außendarstellung des Wirtschaftsstandortes sowie der Unterstützung der ansässigen Unternehmen stellen die Bereitstellung von Informationen zu regionalen Unternehmen der Elektromobilität, zu aktuellen und zukünftigen Projekten im Bereich Elektromobilität und zur Förderberatung für Unternehmen zentrale Aufgaben von Wirtschaftsförderungen dar. Regionale Initiativen zur Verbreitung von Elektromobilität (z. B. Informationen zum Fahrzeugangebot, Kauf- und Einsatzberatung für Bürger und Unternehmen) können Wirtschaftsförderungen zum einen im Gründungsprozess und zum anderen auch durch die Zusammenarbeit mit regionalen Partnern wie Stadtwerken oder Handwerkskammern unterstützen. Des Weiteren können Wirtschaftsförderungen hinsichtlich der Standortplanung für öffentliche und halböffentliche Ladeinfrastruktur unterstützen. Informationen über Standorte von Ladesäulen oder kostenlose Parkplätze für Elektrofahrzeuge können dabei auch online und in Form von Apps zugänglich gemacht werden.

### **6.4.3 Handlungsempfehlungen für Politik**

Die primären Aufgaben der Politik bezüglich der Elektromobilität bestehen darin, geeignete Rahmenbedingungen für die involvierten Unternehmen sowie für die Marktentwicklung der Elektromobilität zu schaffen. Dazu ist ein zielgerichteter Einsatz verschiedener Instrumente unter Berücksichtigung des Marktstadiums sowie der Industriestruktur notwendig. Ausgangspunkt dafür bildet die Analyse des Kompetenzprofils sowie der resultierenden Chancen und Risiken für den jeweiligen Wirtschaftsstandort, vgl. Kapitel 6.2.

Insbesondere bei Technologien mit einem hohen Weiterentwicklungspotenzial besteht durch die Förderung von Forschung und Innovation die Möglichkeit, die Wettbewerbsfähigkeit der geförderten Unternehmen und Forschungseinrichtungen nachhaltig zu stärken. Im Bereich der Forschung und Entwicklung für Elektromobilität verfügt das Land NRW derzeit über ein sehr gutes Profil. Zur Sicherstellung und zum weiteren Ausbau dieser Position ist die Fortführung der bisherigen Forschungsförderung entscheidend. Weiteres Potenzial besteht in einer stärkeren Vernetzung von Hochschulen und Forschungseinrichtungen unterschiedlicher Disziplinen. Hinsichtlich der Produktion von Komponenten des elektrischen Antriebs sollte u. a. die Industrialisierung der Komponenten unterstützt werden. In diesem Zusammenhang sollte im Sinne einer Gesamtsystembetrachtung auch die Förderung und Vernetzung von

Innovationsfeldern wie Automotive, Leichtbau, Produktion, Logistik, IKT sowie Energieerzeugung und -bereitstellung intensiviert werden. Aufgrund der hohen Relevanz von klein- und mittelständischen Unternehmen sowie Startups für die Innovationsgenerierung sollte die Zugänglichkeit (z. B. administrative Voraussetzungen) zu geförderten Forschungsprojekten für diese Unternehmen verbessert werden. Dadurch kann auch eine bessere Vernetzung mit größeren Zulieferunternehmen realisiert werden.

Neben der Förderung von existierenden Unternehmen stellt auch die Ansiedlung von bislang nicht in NRW vertretenen Unternehmen eine Maßnahme dar, um die Wettbewerbsfähigkeit des Standortes zu erhöhen. Unter Berücksichtigung des derzeitigen Kompetenzprofils sowie der Industriestruktur kann durch die Ansiedlung von neuen Unternehmen das Spektrum der in NRW produzierten Elektromobilitätskomponenten erweitert werden. Ansatzpunkte dafür sind der gezielte Einsatz und die Intensivierung von Maßnahmen des Standortmanagements und -marketings in Verbindung mit einer angemessenen Ansiedlungsunterstützung. Einen entscheidenden Einfluss auf die Außendarstellung und die Attraktivität des Standortes für Unternehmen hat die ausreichende Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal, wobei das Land NRW in diesem Bereich eine gute Ausgangsposition aufweist. Durch eine gezielte Förderung von Ausbildungs- und Qualifizierungsmaßnahmen für den Bereich Elektromobilität sowie eine stärkere Vernetzung von Akteuren der akademischen und beruflichen Bildung aller Disziplinen kann diese Position weiter gestärkt werden.

Weitere politische Maßnahmen zur Unterstützung der Marktentwicklung für Elektromobilität können in Bezug auf die Nachfrageseite umgesetzt werden. Eine direkte finanzielle Subvention des Fahrzeugkaufs wäre mit einer hohen finanziellen Belastung verbunden und ist hinsichtlich der Wirksamkeit in der aktuellen Marktphase umstritten. Alternativ sollte die Umsetzbarkeit von nichtmonetären Anreizinstrumenten wie die Nutzung von Sonderfahrspuren und kostenlosen Park- und Lademöglichkeiten untersucht werden. Eine weitere Maßnahme besteht darin, den Aufbau von öffentlicher und halb-öffentlicher Ladeinfrastruktur zu unterstützen. Dabei sollte sich der Aufbau von Infrastruktur allerdings am tatsächlichen Markthochlauf für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge orientieren. Darüber hinaus kann auch eine erhöhte Sichtbarkeit von Elektromobilität gegenüber der Bevölkerung die Marktentwicklung positiv beeinflussen. Ein möglicher Ansatzpunkt dafür ist die teilweise Umstellung von landeseigenen, kommunalen und städtischen Fuhrparks auf Elektrofahrzeuge. Zudem sollte die Zugänglichkeit für Elektrofahrzeuge für die Bevölkerung, z. B. im Rahmen von Carsharing-Angeboten, verbessert werden, um potenzielle Kunden mit dieser neuen Technologie in Kontakt zu bringen.

## 7 Zusammenfassung

Die übergeordnete Zielsetzung des Projektes eVchain.NRW bestand darin, die zukünftige elektromobile Wertschöpfungskette zu modellieren und Handlungsempfehlungen zur Stärkung des Elektromobilitätsstandortes NRW abzuleiten. Vor dem Hintergrund dieser Zielsetzung wurden im Rahmen des Projektes unter anderem die aktuelle Situation der nordrhein-westfälischen Automobilindustrie untersucht und die Auswirkungen der Elektromobilität auf den Standort NRW analysiert. Durch die Bildung von vier Arbeitspaketen wurden verschiedene Unterziele definiert und die zugehörigen Arbeitsinhalte strukturiert, vgl. Abb. 7-1.

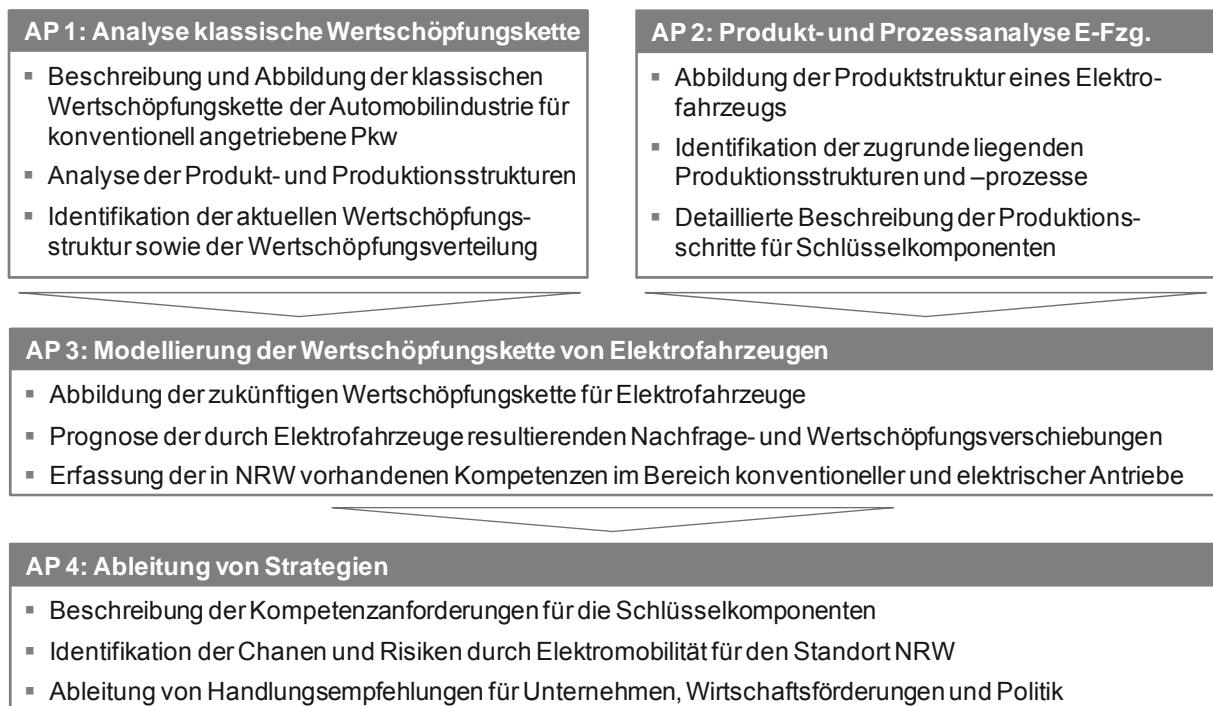


Abb. 7-1: Übersicht der Projektziele

Zielsetzung des ersten Arbeitspunktes (AP 1) war die Beschreibung und Abbildung der klassischen Wertschöpfungskette in der Automobilindustrie für die Entwicklung und Produktion von Pkw mit konventionellem Antriebsstrang. Dazu wurden die Produkt- und die Produktionsstrukturen von konventionell angetriebenen Pkw in Großserienproduktion analysiert. Zudem wurden die aktuelle Wertschöpfungsstruktur sowie die Verteilung der Wertschöpfung zwischen Fahrzeugherstellern und -zulieferern identifiziert.

In einem ersten Arbeitsschritt wurden zunächst die erforderlichen theoretischen Grundlagen der Wertschöpfungsanalyse erarbeitet und die allgemeine Wertschöpfungskette der Automobilindustrie dargestellt. Dabei wurde der Wertschöpfungsbegriff definiert und abgegrenzt sowie Modelle zur Wertschöpfungsanalyse vorgestellt. Anhand einer branchenspezifischen Wertschöpfungskette wurden die wesentlichen Wertschöpfungsstufen beschrieben und die aktuelle Situation der Automobilindustrie im Hinblick auf Wertschöpfungsstrukturen und -tiefe charakterisiert. Anschließend wurde die Struktur eines Pkw mit konventionellem Antriebs-

strang untersucht. Dabei wurde das Gesamtfahrzeug in die Hauptmodule Antriebsaggregat, Antriebsstrang, Karosserie und Exterieur, Fahrwerk, Interieur sowie Elektrik und Elektronik unterteilt. Für jede dieser Domänen wurden die zugehörigen Systeme und Module identifiziert. In einer weiteren Detaillierungsstufe wurden die System- und Modulbestandteile auf Komponentenebene aufgeführt. Gegenstand des ersten Arbeitspunktes war zudem die Analyse der Produktionsstrukturen für konventionell angetriebene Fahrzeuge. Die Untersuchung der Prozessschritte entlang der Wertschöpfungskette erfolgte dabei repräsentativ anhand des Produktionsprozesses eines Referenzfahrzeugs (VW Polo V). In einem weiteren Arbeitsschritt wurde die Verteilung der Wertschöpfung, sowohl auf die einzelnen Fahrzeugsysteme und -module als auch zwischen Fahrzeugherstellern und -zulieferern, auf der Grundlage öffentlich zugänglicher Quellen untersucht. Dabei lag der Wertschöpfungsanalyse ein durchschnittliches Fahrzeug der Kompaktklasse zugrunde.

Als Ergebnis des ersten Arbeitspunktes liegt eine in MS Excel dokumentierte Referenzstruktur eines Pkw mit konventionellem Antriebsstrang vor, welche die Komponenten, Systeme und Module in den einzelnen Domänen abbildet. Des Weiteren wurden die Produktionsstrukturen und Prozessschritte für konventionell angetriebene Fahrzeuge in Prozessdiagrammen dargestellt. Die quantitativen Ergebnisse der Wertschöpfungsanalyse wurden zudem in Übersichtsdarstellungen zusammengefasst.

Das Ziel des zweiten Arbeitspunktes (AP 2) bestand darin, die Produktstruktur eines Elektrofahrzeugs abzubilden sowie die für die Produktion erforderlichen Prozesse und die daraus resultierenden Strukturen zu identifizieren. Darüber hinaus wurden die Produktionsschritte für die Schlüsselkomponenten Elektromotor, Batterie, Leistungselektronik und Brennstoffzelle detaillierter beschrieben.

Im Hinblick auf diese Projektziele wurde innerhalb des zweiten Arbeitspunktes zunächst eine Marktrecherche über die derzeit weltweit angebotenen batteriebetriebenen Elektrofahrzeuge durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 520 Elektrofahrzeuge identifiziert und beschrieben. Aufbauend auf diesem Marktüberblick wurden die beiden Elektrofahrzeuge Mitsubishi i-MiEV und Nissan Leaf als Referenzfahrzeuge für die weitere Untersuchung der Produktstruktur ausgewählt. In Analogie zu der Analyse der Struktur eines Fahrzeugs mit konventionellem Antriebsstrang (AP 1) wurde dabei eine Unterteilung des Gesamtfahrzeugs in die Domänen „Antriebsaggregat“, „Antriebsstrang“, „Fahrwerk“, „Karosserie“, „Exterieur“, „Interieur“ sowie „Elektrik/Elektronik“ vorgenommen. Für jede dieser Domänen wurden die zugehörigen Systeme und Module identifiziert. Zudem wurden in einer weiteren Detaillierungsstufe die System- und Modulbestandteile auf Komponentenebene aufgeführt.

In einem nächsten Projektschritt wurde die Produktionsstruktur für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge mit der Zielsetzung zur Abbildung einer zukünftigen Serienproduktion analysiert. Dabei wurden mit dem Brown-Field-Ansatz (gemischte Fertigung von verbrennungsmotorisierten Fahrzeugen und Elektrofahrzeugen) und dem Green Field Ansatz (Aufbau einer eigenständigen Elektrofahrzeugfertigung) zwei grundlegende Produktionsstrategien für Elektrofahrzeuge mit verschiedenen Realisierungsformen untersucht. Darüber hinaus wurde die

Produktionsstruktur für die Schlüsselkomponenten Elektromotor, Batterie, Leistungselektronik und Brennstoffzelle detaillierter analysiert, indem die einzelnen Produktionsschritte dieser Komponenten betrachtet wurden.

Als Ergebnis des zweiten Arbeitspunktes wurde eine Datenbank mit den weltweit am Markt verfügbaren Elektrofahrzeugmodellen aufgebaut. Darüber hinaus liegt eine in MS Excel dokumentierte Referenzstruktur eines Elektrofahrzeugs vor. Die im Rahmen von AP 2 untersuchten Produktionsstrategien für Elektrofahrzeuge wurden in Prozessdiagrammen zusammenfassend dargestellt. Für die Schlüsselkomponenten Elektromotor, Batterie, Leistungselektronik und Brennstoffzelle wurden zudem Übersichtsdarstellungen zum Systemaufbau und zu den Produktionsprozessschritten erarbeitet.

Aufbauend auf den Ergebnissen der ersten beiden Arbeitspunkte war das Ziel des dritten Arbeitspunktes (AP 3) die Abbildung der zukünftigen Wertschöpfungskette für Elektrofahrzeuge. Zudem sollten die durch Elektrofahrzeuge resultierenden Nachfrage- und Wertschöpfungsverschiebungen bei den Fahrzeugkomponenten prognostiziert werden. Des Weiteren wurden die in NRW in Bezug auf die Entwicklung und Produktion von konventionellen und elektrischen Antriebskomponenten vorhandenen Kompetenzen erfasst und in Kompetenzlandkarten dargestellt.

Innerhalb des dritten Arbeitspunktes wurde in einem ersten Arbeitsschritt durch einen Vergleich der Referenzstruktur für ein konventionelles Fahrzeug mit der eines Elektrofahrzeugs der resultierende Anpassungsbedarf bei den Fahrzeugkomponenten von Elektrofahrzeugen untersucht. Dazu wurde eine Einteilung der Fahrzeugkomponenten in die Kategorien „Neues System/Modul“, „Entfallendes System/Modul“ sowie „Verändertes System/Modul“ vorgenommen. In einem nächsten Schritt wurde die Wertschöpfungskette für die Schlüsselkomponenten Elektromotor, Batterie und Leistungselektronik analysiert. Dabei wurden die für die Produktion der Systeme und Module erforderlichen Wertschöpfungsaktivitäten identifiziert und untersucht, ob die entsprechenden Wertschöpfungsaktivitäten derzeit vom OEM oder vom Zulieferer abgedeckt werden. Zudem wurden die Wertschöpfungsanteile der einzelnen Wertschöpfungsstufen angegeben.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde die zukünftige elektromobile Wertschöpfungskette modelliert. Durch einen Vergleich mit der in AP 1 analysierten Wertschöpfungskette konventioneller Fahrzeuge wurden die durch Elektrofahrzeuge resultierenden Wertschöpfungsänderungen dargestellt und in einem Wertschöpfungsmodell quantitativ abgebildet. In einem nächsten Schritt wurde die zukünftige Marktentwicklung für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge bis zum Referenzjahr 2025 prognostiziert. Dazu wurden verschiedene, öffentlich verfügbare Studien berücksichtigt und validiert. Ausgehend von der zukünftigen Marktentwicklung und den vorher identifizierten Veränderungen der Wertschöpfungsstruktur konnten anschließend die für die einzelnen Fahrzeugkomponenten resultierenden Nachfrageverschiebungen abgeschätzt werden. In einem letzten Schritt wurde innerhalb des dritten Arbeitspunktes die derzeitige Struktur der Automobilindustrie in NRW untersucht. Dazu wurde zunächst eine Unternehmensdatenbank aufgebaut, die die regional in NRW vorhandenen Auto-

mobilzulieferer sowie deren derzeitiges Produktportfolio umfasst. Darauf aufbauend wurden Kompetenzlandkarten zur Erfassung der aktuellen Kompetenzsituation in NRW erstellt.

Als Ergebnis des dritten Arbeitspunktes liegt eine Übersicht des Anpassungsbedarfs bei den Fahrzeugkomponenten von Elektrofahrzeugen vor. Des Weiteren wurden die Wertschöpfungsstufen und -akteure in einem Wertschöpfungsmodell abgebildet und der Wertschöpfungsumfang quantifiziert. Auf dieser Grundlage wurden Prognosen zur Marktentwicklung und zu den Nachfrageverschiebungen bei den Fahrzeugkomponenten erstellt. Weitere Ergebnisse dieses Arbeitspunktes sind eine in MS Excel dokumentierte Unternehmensdatenbank der Automobilzulieferer in NRW sowie Kompetenzlandkarten für konventionelle und elektrische Antriebskomponenten.

Zu den Zielen des abschließenden vierten Arbeitspunktes (AP 4) gehörte die Identifikation der Kompetenzanforderungen für die Produktion der Schlüsselkomponenten Elektromotor, Batterie, Leistungselektronik und Brennstoffzelle. Darauf aufbauend wurden die Chancen und Risiken der Elektromobilität für den Automobilstandort NRW aufgezeigt und Handlungsempfehlungen für Unternehmen, Wirtschaftsförderungen und Politik abgeleitet, um die Attraktivität von NRW als Elektromobilitätsstandort zu stärken.

In einem ersten Schritt wurde der Kompetenzbedarf zur Entwicklung und Produktion der Schlüsselkomponenten von Elektrofahrzeugen aufgezeigt, wobei die erforderlichen Kompetenzen in den Bereichen Know-How, Prozesse und Produktionstechnik untersucht wurden. Durch einen Abgleich mit den im dritten Arbeitspunkt erstellten Kompetenzlandkarten wurden Kompetenzlücken in NRW identifiziert und die aus der Verschiebung der Kompetenzanforderungen resultierenden Chancen und Risiken für den Automobilstandort NRW dargestellt. Dabei wurde eine grobe Abschätzung der Marktentwicklung für Fahrzeugkomponenten in NRW auf der Basis der in AP 3 prognostizierten Nachfrageverschiebungen durchgeführt.

Des Weiteren wurde im Rahmen des vierten Arbeitspunktes eine Übersicht über die internationale politische Fördersituation im Bereich der Entwicklung und Produktion von Elektrofahrzeugen erstellt. Neben Programmen zur Förderung von Forschung und Entwicklung wurden auch monetäre und nicht-monetäre Fördermaßnahmen aufgezeigt. Die verschiedenen Fördermaßnahmen wurden zudem hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und ihrer Umsetzbarkeit in NRW bewertet. In einem letzten Arbeitsschritt wurden Handlungsempfehlungen zur Stärkung der nordrhein-westfälischen Industrie im Bereich Elektromobilität entwickelt. In diesem Zusammenhang wurden neben den in NRW ansässigen Unternehmen auch die Interessensvertreter der Wirtschaftsförderungen sowie die politischen Akteure berücksichtigt.

Die Ergebnisse des abschließenden vierten Arbeitspunktes sind unter anderem Übersichtsdarstellungen zu den Kompetenzanforderungen für elektrische Antriebskomponenten. Zudem wurden die internationalen staatlichen Förderprogramme für F&E im Bereich Elektromobilität sowie die monetären Kaufanreize für Kunden zusammenfassend dargestellt.

**8 Literatur**

- [ACE14] European Automobile Manufacturers Association (ACEA)  
Overview of Purchase and Tax Incentives For Electric Vehicles in the EU  
(Stand: 1. April 2014)  
[http://www.acea.be/uploads/publications/Electric\\_vehicles\\_overview\\_\\_2014.pdf](http://www.acea.be/uploads/publications/Electric_vehicles_overview__2014.pdf)  
Abruf am 09. September 2014
- [ATZ12] AUTOMOBILTECHNISCHE ZEITSCHRIFT  
Wasserstoff: Alternative zur Hochdruckspeicherung  
Springer Automotive Media, Wiesbaden, Nr. 2, 2012
- [BAL09] BALL, M.; WIETSCHER, M.  
The Hydrogen Economy Opportunities and Challenges  
Cambridge University Press, Cambridge, 2009
- [BCG10] The Boston Consulting Group  
Batteries for Electric Cars – Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020  
[www.bcg.com/documents/file36615.pdf](http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf), Abruf am 20.04.2012
- [BEE10] BEERMANN, M.; JUNGMEIER, G.; WENZEL, A.; SPITZER, J.; CANELLA, L.;  
ENGEL, A.; SCHMUCK, M.; KOLLER, S.  
Quo Vadis Elektroauto?  
Grundlagen einer Roadmap für die Einführung von Elektro-Fahrzeugen in  
Österreich  
Institut für Energieforschung TU Graz, Graz 2010
- [BRA13] BRAESS, H.-H.; SEIFFERT, U. (Hrsg.)  
Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik  
Ausgabe 2013
- [BRU08] BRUNNER, F.  
Japanische Erfolgskonzepte  
KAIZEN, KVP, Lean Production Management  
Carl Hanser Verlag, München 2008
- [CAN11] CANKUT, Y.  
Kabelbäume automatisiert fertigen  
ATZ Produktion Ausgabe 01/2011  
Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden 2011



- [CCF14] Comité des Constructeurs Français d'Automobiles  
The French Automotive Industry  
2014 Analysis and Statistics  
CCFA, Paris, 2014
- [CEB11] CEBULSKI, B.  
Leistungselektroniken im Fahrzeugantrieb  
Springer Automotive Media, Wiesbaden, 2011
- [CEP14] Clean Energy Partnership  
Schnittbild Mercedes-Benz B-Klasse F-CELL  
[http://www.cleanenergypartnership.de/cep\\_gallery/var/albums/CEP-Fahrzeugtechnik/Mercedes-Benz%20B-Klasse%20F-CELL\\_copyright%20Daimler.jpg?m=1280492908](http://www.cleanenergypartnership.de/cep_gallery/var/albums/CEP-Fahrzeugtechnik/Mercedes-Benz%20B-Klasse%20F-CELL_copyright%20Daimler.jpg?m=1280492908)  
Abruf am 14.08.2014
- [CHN14] New vehicle lottery scheme in Beijing (2014-2017)  
<http://sustainabletransport.org/new-vehicle-lottery-scheme-in-beijing-2014-2017/>  
Abruf am 27. Mai 2014
- [CUE99] CUENCA, R.M.; GAINES, L.L.; YVAS, A.D.  
Evaluation of Electric Vehicle Production and Operating Costs  
Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, Argonne 1999
- [DUP08] Dupont  
Tränkmittel  
DuPont Performance Coatings GmbH, Wuppertal, 2008  
[http://www2.dupont.com/Wuppertal/de\\_DE/assets/downloads/traenkmittel-d.pdf](http://www2.dupont.com/Wuppertal/de_DE/assets/downloads/traenkmittel-d.pdf)  
Abruf am 15.08.2014
- [ECK10] ECKSTEIN, L.  
Vorlesungsumdruck Unkonventionelle Fahrzeugantriebe  
Institut für Kraftfahrzeuge, Aachen, 2010
- [EDT14] Electric Drive Transportation Association – Marktzahlen EVs 2013  
<http://electricdrive.org/index.php?ht=d/sp/i/20952/pid/20952>  
Abruf am 26. Mai 2014
- [EEA14] N.N.  
Monitoring CO2 emissions from new passenger cars in the EU  
European Environment Agency, Copenhagen, 2014  
<http://www.eea.europa.eu/publications/monitoring-co2-emissions-from-new>

- [EHR07] EHRENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; LINDEMANN, U.  
Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren  
Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung  
Springer Verlag, Berlin 2007
- [EIS09] EISELE, R.  
Lötfreie Verbindungstechniken von Leistungshalbleitern  
Institut für Mechatronik, Fachhochschule Kiel, 2009  
[http://www.kompetenzzentrum-leistungselektronik.com/useruploads/files/2009-08\\_eisele\\_lotfreie\\_verbindungstechniken\\_von\\_leistungshalbleitern.pdf](http://www.kompetenzzentrum-leistungselektronik.com/useruploads/files/2009-08_eisele_lotfreie_verbindungstechniken_von_leistungshalbleitern.pdf)  
Abruf am 15.08.2014
- [EPA11a] N.N.  
Light-Duty Vehicle Technology Cost Analysis  
Mild Hybrid and Valvetrain Technology  
United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 2011
- [EPA11b] N.N.  
Light-Duty Vehicle Technology Cost Analysis  
Power-Split and P2 HEV Case Studies  
United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 2011
- [EUC13] Alyona Zubaryeva, Christian Thiel  
Paving the way to electrified road transport  
Europäische Kommission, Joint Research Centre, 2013
- [EVN14] Electric Vehicles News  
Toyota Prius  
[http://electricvehiclesnews.com/Cars/HEV/Toyota\\_Prius\\_HEV.htm](http://electricvehiclesnews.com/Cars/HEV/Toyota_Prius_HEV.htm),  
Abruf am 21.03.2014
- [FEL09] FELDMANN, K.  
Montage in der Leistungselektronik für globale Märkte  
Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009
- [FIN99] FINKEIßEN, A.  
Prozess-Wertschöpfung: Neukonzeption eines Modells zur nutzerorientierten  
Analyse und Bewertung  
Betriebswirtschaftliches Institut der Universität Stuttgart, 1999

- [FIS12] FISCHER, R.; KÜCÜKAY, F.; JÜRGENS, G.; NAJORK, R.; POLLAK, B.  
Das Getriebebuch  
Der Fahrzeugantrieb  
Springer Verlag, Berlin 2012
- [FRA09] Ministerium für Umwelt, Energie, nachhaltige Entwicklung und das Meer  
Pressemitteilung zum Lancement du plan national pour le développement des  
véhicules électriques et hybrides rechargeables  
[http://www.developpement-  
durable.gouv.fr/IMG/pdf/dossier\\_de\\_presse\\_vehicules\\_ecologiques.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/dossier_de_presse_vehicules_ecologiques.pdf).  
Oktober 2009, Aufruf 26. Mai 2014
- [FRA12] Fraunhofer IAO  
Elektromobilität und Beschäftigung – Wirkungen der Elektrifizierung des  
Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung (ELAB),  
Abschlussbericht  
Fraunhofer Verlag, 2012
- [FRA14] Zulassungszahlen Frankreich 2013  
[http://www.emobilitaetonline.de/e-journal/wirtschaft/536-elektroauto-und-  
elektronutzfahrzeug-verkaeufe-2013-in-frankreich](http://www.emobilitaetonline.de/e-journal/wirtschaft/536-elektroauto-und-elektronutzfahrzeug-verkaeufe-2013-in-frankreich)  
Abruf am 26. Mai 2014
- [GCC12] China publishes plan to boost fuel-efficient and new energy vehicles and  
domestic auto industry  
<http://www.greencarcongress.com/2012/07/china-20120709.html>  
Abruf am 26. Mai 2014
- [GRM14] Green Motors  
Technische Daten Mercedes-Benz B-Klasse F-CELL  
<http://www.green-motors.de/auto/mercedes-b-klasse-f-cell>  
Abruf am 14.08.2014
- [HEC10] HECKER, F.; HURTH, J.; SEEBA, H.  
Aftersales in der Automobilwirtschaft  
Konzepte für Ihren Erfolg  
Springer Automotive Media, München 2010

- [HEN12] HENSLEY, R.; NEWMAN, J.; ROGERS, J.  
Battery technology charges ahead  
[http://www.mckinsey.com/insights/energy\\_resources\\_materials/battery\\_technology\\_charges\\_ahead](http://www.mckinsey.com/insights/energy_resources_materials/battery_technology_charges_ahead)  
McKinsey, Detroit, 2012
- [HOF10] HOFMANN, P.  
Hybridfahrzeuge  
Springer Verlag, Wien, 2010
- [HUN08] HUNGENBERG, H.  
Strategisches Management in Unternehmen  
Ziele – Prozesse – Verfahren  
Gabler Verlag, Wiesbaden, 2008
- [ICC14] MOCK, P., Yang Z.  
Driving Electrification  
A global comparison of fiscal incentive policy for electric vehicles  
ICCT, Washington 2014
- [ICF12] N.N.  
Information and Communication Technologies for the Full Electric Vehicle (ICT4FEV)  
D2.4 Report on National R&D Programmes on the Fully Electric Vehicle  
Berlin, 2012
- [ICT14a] The International Council on Clean Transportation (ICCT)  
European Vehicle Market Statistics - Passenger Cars: Data  
<http://eupocketbook.theicct.org/data/pc-data-eu-member-state>,  
Abruf am 29.07.2014
- [ICT14b] MOCK, P., YANG, Z.  
The International Council on Clean Transportation (ICCT)  
Driving Electrification  
A global comparison of fiscal incentive policy for electric vehicles  
ICCT, Washington 2014
- [IEA05] Internationale Energieagentur  
Prospects for Hydrogen and Fuel Cells  
OECD/IEA, Paris, 2005

- [IEA14] Internationale Energieagentur: Länderprofil Italien, Forschung und Entwicklung  
<http://www.ieahev.org/by-country/italy---research/>  
Abruf am 26. Mai 2014
- [ISE10] ISERMANN, R.  
Elektronisches Management motorischer Fahrzeugantriebe  
Vieweg+Teubner, Wiesbaden 2010
- [ISE14] Institut für Stromrichtertechnik und elektrische Antriebe (iSEA) RWTH Aachen  
Leistungselektronik  
<http://www.isea.rwth-aachen.de/powerelectronics/>  
Abruf am 16.09.2014
- [JAP14] VDI/VDE-IT, AHK Japan  
Trendbericht: Elektromobilität in Japan  
Berlin, 2014
- [KAM12] KAMPKER, A.  
Herausforderungen in der Elektromotorenproduktion  
mobilität morgen  
TEMA Technologie Marketing AG, Aachen, 2012
- [KAM13] KAMPKER, A. et al.  
Elektromobilität  
Grundlagen einer Zukunftstechnologie  
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 2013
- [KAM14] KAMPKER, A.  
Elektromobilproduktion  
Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 2013
- [KBA14] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)  
Neuzulassungen im Jahr 2006-2013 nach Umwelt-Merkmalen  
[http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/umwelt\\_nod\\_e.html](http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/umwelt_nod_e.html)  
Abruf am 29.07.2014
- [KLE12] KLEMMT, A.  
Ablaufplanung in der Halbleiter- und Elektronikproduktion  
Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2012

- [KOC06] KOCH, W.  
Zur Wertschöpfungstiefe von Unternehmen  
Die strategische Logik der Integration  
GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden 2006
- [KOR13] KORTHAUER, R.  
Handbuch Lithium-Ionen-Batterien  
Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2013
- [KRA05] KRAUS, R.  
Strategisches Wertschöpfungsdesign  
Ein konzeptioneller Ansatz zur Innovativen Gestaltung der Wertschöpfung  
Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2005
- [KRE08] KREUZ, C.  
PEM-Brennstoffzellen mit spritzgegossenen Bipolarplatten aus hochgefülltem  
Graphit-Compound  
[http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-20124/Kreuz\\_Diss.pdf](http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-20124/Kreuz_Diss.pdf)  
Abruf am 14.05.2014
- [KRO09] KROPIK, M.  
Produktionsleitsysteme in der Automobilfertigung  
Springer Dordrecht Heidelberg, 2009
- [KUR13] KURZWEIL, P.  
Brennstoffzellentechnik  
Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen  
Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2013
- [LOC08] LOCH, C.; KAVADIAS, S.  
Handbook of New Product Development Management  
Butterworth Heinemann, Burlington 2008
- [LON10] Transport for London: Electric Vehicles in Bus Lanes  
<http://legacy.london.gov.uk/electricvehicles/docs/Electric%20Vehicles%20in%20Bus%20Lanes.pdf>  
London, 2010, Aufruf am 27. Mai 2014

- [LON14] Transport for London: Changes to the Congestion Charge  
<http://www.tfl.gov.uk/modes/driving/congestion-charge/changes-to-the-congestion-charge>  
Abruf am 27. Mai 2014
- [LUN09] LUNANOVA, M.  
Optimierung von Nebenaggregaten  
Maßnahmen zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emission von Kraftfahrzeugen  
GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden 2009
- [MER04] Mercer Management Consulting, Fraunhofer Gesellschaft  
Future Automotive Industry Structure (FAST) 2015 – die neue Arbeitsteilung in der Automobilindustrie  
Verband der Automobilindustrie e.V.; Frankfurt am Main, 2004
- [MEY05] MEYER, U.; CREUX, S.; MARIN, A.  
Grafische Methoden der Prozessanalyse  
Für Design und Optimierung von Produktionsleitsystemen  
Carl Hanser Verlag München Wien 2005
- [MIT14] Mitsubishi Deutschland  
Technische Daten des Mitsubishi iMiev  
<http://www.imiev.de/docs/iMiEV-daten.pdf>, Abruf am 31.07.2014
- [NIS14] Nissan Deutschland  
Technische Daten des Nissan Leaf  
[http://www.nissan.de/DE/de/vehicle/electric-vehicles/leaf/prices-and-equipment/prices-and-specifications/model-details.106543\\_105000\\_105250.html](http://www.nissan.de/DE/de/vehicle/electric-vehicles/leaf/prices-and-equipment/prices-and-specifications/model-details.106543_105000_105250.html),  
Abruf am 31.07.14
- [NPE11] Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität  
Berlin, 2011
- [NRW13] Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW)  
Statistisches Jahrbuch Nordrhein-Westfalen 2013  
Information und Technik NRW, Düsseldorf, 2013
- [NRW14] NRW.Invest  
Automobilindustrie in Nordrhein-Westfalen  
[http://www.nrwinvest.com/nrwinvest\\_deutsch/Branchen/Automobil/index.php](http://www.nrwinvest.com/nrwinvest_deutsch/Branchen/Automobil/index.php)  
Abruf am 15.08.2014

- [OWY12] Oliver Wyman  
Studie „FAST 2025“ – Struktur der Automobilindustrie 2025  
München, 2012
- [OWY13] Oliver Wyman  
Strukturwandel 2.0: Schmalere Grat für mittelständische Zulieferer  
München, 2013
- [PAR14] PARSPOUR, N.  
Einführung in die Elektrotechnik II, Vorlesungsskript  
Institut für Leistungselektronik und Elektrische Antrieb  
Universität Stuttgart, Stuttgart, 2014
- [PHI96] PHILIPPE, M.; RONAN, S.  
Herstellungsverfahren für Schichtkondensatoren  
Dokumentenidentifikationsnummer DE69300547T2 21.03.1996  
Patent.de, 1996  
<http://www.patent-de.com/19960321/DE69300547T2.html>  
Abruf am 15.08.2014
- [POR04] PORTER, M.  
Competitive Advantage  
Creating and Sustaining Superior Performance  
Free Press, New York 2004
- [QUA13] Blogeintrag: Norway is starting to have more electric cars than it can handle  
<http://qz.com/159595/norway-electric-cars/>  
20. Dezember 2013, Abruf am 27. Mai 2014
- [RAD04] RADTKE, P.; ABELE, E.; ZIELKE, A.E.  
Die smarte Revolution in der Automobilindustrie  
Redline Wirtschaft, Frankfurt am Main, 2004
- [REI10] REICHHUBER, A.  
Strategie und Struktur in der Automobilindustrie  
Strategische und organisatorische Programme zur Handhabung  
automobilwirtschaftlicher Herausforderungen  
Gabler / GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden 2010
- [RIT04] RITSCH, K.  
Wissensorientierte Gestaltung von Wertschöpfungsnetzwerken  
Dissertation, Shaker Verlag, Graz 2004



- [ROB11] Roland Berger Strategy Consultants  
Powertrain 2020: The Li-Ion Battery Value Chain – Trends and implications  
[http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland\\_Berger\\_The\\_Li\\_Ion\\_Battery\\_Value\\_Chain\\_20110801.pdf](http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_The_Li_Ion_Battery_Value_Chain_20110801.pdf), Abruf am 25.04.2012
- [SAU13] SAUER, D.U.  
Batteries in Electrified Drivetrains  
12. CTI-Symposium Automotive Transmissions, Berlin 2013
- [SCH05] SCHONERT, T.; RENNEMANN, T.  
Analyse und Planung automobiler Wertschöpfungsnetzwerke  
Basis zur langfristigen Generierung von Erfolgspotenzialen
- [SCH08a] SCHONERT, T.  
Interorganisationaler Wertschöpfungsnetzwerke in der dt. Automobilindustrie  
Die Ausgestaltung von Geschäftsbeziehungen am Beispiel internationaler Standortentscheidungen  
GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden 2008
- [SCH08b] SCHUH, G.; STÖLZLE, W.; STRAUBE, F.  
Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen  
Ein Leitfaden für die Praxis  
Springer Verlag Berlin, Heidelberg 2008
- [SCH10] SCHUH, G.  
Fabrikplanung  
Vorlesungsumdruck  
WZL – Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen, Aachen 2010
- [SCH11] SCHLICK, T.; HERTEL, G.; HAGEMANN, B.; MAISER, E.; KRAMER, M.  
Zukunftsfeld Elektromobilität  
Chancen und Herausforderungen für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau  
Roland Berger Strategy Consultants, München 2011
- [SPA12] SPATH, D.; BAUER, W.; VOIGT, S.; BORRMANN, D.; HERRMANN, F.; BRAND, M.; RALLY, P.; ROTHFUSS, F.; SACHS, C.; FRIESKE, B.; PROPFE, B.; REDELBACH, M.; SCHMID, S.; DISPAN, J.  
Elektromobilität und Beschäftigung  
Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung  
Fraunhofer Verlag, Stuttgart 2012

- [SPR14] N.N.  
Springer für Professionals  
Keine Zukunftsmusik: elektrische Radnabenmotoren  
<http://www.springerprofessional.de/keine-zukunftsmusik-elektrische-radnabenmotoren/2338676.html>, Abruf am 15.08.2014
- [STO13] STÖTZEL, S.  
Lithium-Ionen Batterien für Elektroautos von morgen– Zellenkonzepte und ihre Herausforderungen an die Fertigungstechnologien  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich; Siegen  
[http://wiki.zimt.uni-siegen.de/fertigungsautomatisierung/index.php/Lithium-IonenBatterien\\_f%C3%BCr\\_Elektroautos\\_von\\_morgen\\_%E2%80%93\\_Zellenkonzepte\\_und\\_ihre\\_Herausforderungen\\_an\\_die\\_Fertigungstechnologien](http://wiki.zimt.uni-siegen.de/fertigungsautomatisierung/index.php/Lithium-IonenBatterien_f%C3%BCr_Elektroautos_von_morgen_%E2%80%93_Zellenkonzepte_und_ihre_Herausforderungen_an_die_Fertigungstechnologien)  
Abruf am 15.08.2014
- [TES14] N.N.  
Tesla Motors  
Electric vehicle incentives around the world  
<http://www.teslamotors.com/incentives/>, Abruf am 09.09.2014
- [THU05] THUDIUM, T.  
Technologieorientiertes strategisches Marketing  
GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden 2005
- [VDA08] Verband der Automobilindustrie (VDA)  
Jahresbericht 2008
- [VWA04] Volkswagen AG  
Cockpitfertigung Touran Wolfsburg – Autogramm 2004  
<http://autogramm.volkswagen.de>, Abruf am 27.03.2011
- [VWA09] Volkswagen AG  
Geschäftsbericht 2009
- [VWA11] Volkswagen AG  
Ambitionen  
[http://www.volkswagenag.com/vwag/nb09bis10/content/de/Ambitionen/Standorte/Erst\\_bewerten\\_und\\_dann\\_bauen.html](http://www.volkswagenag.com/vwag/nb09bis10/content/de/Ambitionen/Standorte/Erst_bewerten_und_dann_bauen.html)  
Abruf am 27.03.2011

- [VWK11] Volkswagen AG  
Werk Kassel  
<http://www.volkswagen.de/de/Volkswagen/nachhaltigkeit/Standorte/europa/kassel.html>  
Abruf am 27.03.2011
- [VWN11] Volkswagen AG  
Volkswagen Navarra – Production process  
<http://www.vw-navarra.es/fabrica/proceso.aspx>  
Abruf am 20.03.2011
- [WAL09] WALLENTOWITZ, H.; FREIALDENHOVEN, A.; OLSCHESKI, I.  
Strategien in der Automobilindustrie  
Technologietrends und Marktentwicklungen  
GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden 2009
- [WAL11] WALLENTOWITZ, H., FREIALDENHOVEN, A.; OLSCHESKI, I.  
Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges  
Technologien, Märkte und Implikationen  
Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011
- [WBZ08] Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle Ulm e.V.  
Brennstoffzellen-Grundlagen  
Aufbau und Funktion  
[http://www.bba-bw.de/files/vortrag\\_bz-grundlagen-wbzu.pdf](http://www.bba-bw.de/files/vortrag_bz-grundlagen-wbzu.pdf),  
Abruf am 14.05.2014
- [WEI05] WEINERT, K.  
Spanende Fertigung  
Prozesse, Innovationen, Werkstoffe, 4. Auflage  
Vulkan-Verlag GmbH, Essen 2005
- [WZL12a] WZL und VDMA  
Der Produktionsprozess einer Lithium-Ionen-Folienzelle  
Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen (WZL) und Verband Deutscher  
Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)  
Eigendruck, Aachen, Frankfurt a.M. 2012
- [WZL12b] WZL und VDMA  
Der Montageprozess eines Batteriepacks  
Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen (WZL) und Verband Deutscher  
Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)  
Eigendruck, Aachen, Frankfurt a.M. 2012

- [WZL12c] WZL und VDMA  
Der Produktionsprozess eines Elektromotors  
Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen (WZL) und Verband Deutscher  
Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)  
Eigendruck, Aachen Frankfurt a.M., 2012

## 9 Anhang

## 9.1 Referenzstruktur konventionelles Fahrzeug


	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen	
<b>Antriebsaggregat</b> 	Gesamtsystem	X	X		
	Grundmotor	X		Entfall	
	Zylinderblock	X	X	Entfall	
	Zylinderkopf	X	X	Entfall	
	Nockenwelle	X	X	Entfall	
	Pleuelstange	X	X	Entfall	
	Kurbelwelle	X	X	Entfall	
	Kurbelwellenlagerung		X	Entfall	
	Kolben	X	X	Entfall	
	Motorlager		X	Entfall	
	Ölwanne		X	Entfall	
	Motoraufhängung mit Lager		X	Entfall	
	Dichtungen		X	Entfall	
	Ventile	X	X	Entfall	
	Zündanlage		X	Entfall	
	Zündkerzen		X	Entfall	
	Abgassystem			X	
	Katalysator			X	Entfall
	Abgaskrümmmer			X	Entfall
	Fallrohr			X	Entfall
	Schalldämpfer			X	Entfall
	Abgasendrohr			X	Entfall
	Elektrische Vorheizung für Katalysator			X	Entfall
	Partikelfilter			X	Entfall
	AGR	X		X	Entfall
	Lambdasonden			X	Entfall
	NO <sub>x</sub> -Speicherkatalysator			X	Entfall
	SCR-System			X	Entfall
	Luftversorgung			X	
	Ansaugstutzen			X	Entfall
	Luftfilter &-kasten			X	Entfall
	Turbolader / Kompressor			X	Entfall
	Ladeluftkühlsystem			X	Entfall
	Motor Kühlsystem			X	
	Kühlmittel-Kühler			X	Veränderungen notwendig
	Kühlerventilator			X	Veränderungen notwendig
	Thermostat			X	Veränderungen notwendig
	Ausgleichsbehälter			X	Veränderungen notwendig
	PTC-Zuheizelemente			X	Veränderungen notwendig
	Kühlwasserleitungen, Ventile			X	Veränderungen notwendig
	Nebenaggregate			X	
	Starter			X	Entfall
	Generator			X	Entfall
	Kühlwasserpumpe			X	Veränderungen notwendig
	Ölpumpe			X	Veränderungen notwendig
	Sonstige Pumpen			X	Veränderungen notwendig
	Riementrieb inkl. Räder			X	Entfall
	Kraftstoffsystem			X	
	Tank			X	Entfall
	Einfüllstutzen mit Deckel			X	Entfall
	Kraftstoffleitungen			X	Entfall
	Injektoren			X	Entfall
	Kraftstoffpumpe			X	Entfall
	Common-Rail			X	Entfall
	Hochdruckpumpe			X	Entfall
	Kraftstofffilter			X	Entfall
	Kraftstoffverteiler			X	Entfall
	NVH				
	Drehschwingungsdämpfer			X	Entfall
	Schwungrad			X	Entfall
	Massenausgleichssystem	X		X	Entfall
	Motorverkleidung /-dämmung			X	Entfall

Abb. 9-1: Referenzstruktur konventionelles Fahrzeug – Antriebsaggregat


	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen
	<b>Antriebsstrang</b>			
	Gesamtsystem	X	X	
	Getriebe (manuell)	X	X	
	Gehäuse	X	X	Veränderungen notwendig
	Antriebswelle	X	X	Veränderungen notwendig
	Abtriebswelle	X	X	Veränderungen notwendig
	Zahnräder		X	Veränderungen notwendig
	Wälzlager		X	Veränderungen notwendig
	Schaltmuffe		X	Veränderungen notwendig
	Synchronring		X	Veränderungen notwendig
	Getriebesteuerung	X	X	Veränderungen notwendig
	Kupplung		X	Veränderungen notwendig
	NVH			
	Drehschwingungsdämpfer		X	Veränderungen notwendig
	Antriebswelle und Differential	X	X	Veränderungen möglich

Abb. 9-2: Referenzstruktur konventionelles Fahrzeug – Antriebsstrang


	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen
	<b>Fahrwerk</b>			
	Gesamtsystem	X		
	Räder		X	
	Felge		X	Veränderungen möglich
	Reifen		X	keine Veränderungen
	Radaufhängung	X	X	
	Längslenker	X	X	Veränderungen möglich
	Querlenker	X	X	Veränderungen möglich
	Gummilager		X	Veränderungen möglich
	Kugelgelenke		X	Veränderungen möglich
	Radträger	X	X	Veränderungen möglich
	Radlager		X	Veränderungen möglich
	Radnabe	X	X	Veränderungen möglich
	Federung & Stoßdämpfer	X	X	
	Federn		X	Veränderungen möglich
	Stoßdämpfer		X	Veränderungen möglich
	Stabilisator		X	Veränderungen möglich
	Lenksystem	X	X	
	Zahnstange mit Ritzel	X	X	keine Veränderungen
	Lenkgetriebe	X	X	keine Veränderungen
	Elektrischer Lenkantrieb		X	keine Veränderungen
	Lenksäule	X	X	keine Veränderungen
	Zwischenwelle	X	X	keine Veränderungen
	Spurstange	X	X	keine Veränderungen
	Tragende Elemente	X	X	
	Hinterachsträger	X	X	Veränderungen möglich
	Achslager		X	Veränderungen möglich
	Bremssystem		X	
	Bremssattel		X	keine Veränderungen
	Bremskraftverstärker		X	Veränderungen notwendig
	Bremsbeläge		X	keine Veränderungen
	Bremsschläuche		X	keine Veränderungen
	Bremsleitungen		X	keine Veränderungen
	Bremsscheibe		X	keine Veränderungen
	Hauptbremszylinder		X	Veränderungen notwendig
	Hydraulikbremskolben		X	keine Veränderungen
	Handbremse		X	keine Veränderungen
	Unterdruckpumpe		X	Veränderungen möglich
	ABS/ESP-Steuergerät		X	Veränderungen notwendig

Abb. 9-3: Referenzstruktur konventionelles Fahrzeug – Fahrwerk


	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen
<b>Interieur</b> 	Gesamtsystem		X	
	Cockpit		X	
	Instrumententafel		X	keine Veränderungen
	Kombiinstrument		X	Veränderungen notwendig
	Mittelkonsole		X	keine Veränderungen
	Zündschloss		X	keine Veränderungen
	Anzeigen/Warmluchten		X	keine Veränderungen
	Schalter/Bedienelemente		X	keine Veränderungen
	Lenkrad		X	keine Veränderungen
	Sitze		X	
	Sitzrahmen		X	keine Veränderungen
	Sitzschiene		X	keine Veränderungen
	Sitzverstellung		X	keine Veränderungen
	Kopfstütze		X	keine Veränderungen
	Polsterschale		X	keine Veränderungen
	Sitzpolster		X	keine Veränderungen
	Rückenpolster		X	keine Veränderungen
	Sitzheizung		X	keine Veränderungen
	Insassenschutz		X	
	Fahrer-/Beifahrer-Airbag		X	keine Veränderungen
	Seitenairbags		X	keine Veränderungen
	Airbag-Steuergerät		X	keine Veränderungen
	Crashsensorik Vorderwagenstruktur	X	X	keine Veränderungen
	Crashsensorik Seitenstruktur	X	X	keine Veränderungen
	Sicherheitsgurte		X	keine Veränderungen
	Aufnahme Sicherheitsgurt		X	keine Veränderungen
	Gurtstraffer		X	keine Veränderungen
	Gurtschloss		X	keine Veränderungen
	Innenraumbelüftung		X	
	Sensoren Klimaanlage		X	keine Veränderungen
	Verdampfer		X	keine Veränderungen
	Klimakompressor		X	Veränderungen notwendig
	Kondensator		X	keine Veränderungen
	Expansionsventil		X	keine Veränderungen
	Druckleitungen		X	keine Veränderungen
	Heizkörper		X	Veränderungen notwendig
	Lüftermotor		X	keine Veränderungen
	Lüftergehäuse		X	keine Veränderungen
	Luftauslass		X	keine Veränderungen
	Luftführungen		X	keine Veränderungen
	Lüfterkasten		X	keine Veränderungen
	Tür		X	
	Fensterheber (Motor und Mechanik)		X	keine Veränderungen
	Elektrische Spiegelverstellung		X	keine Veränderungen
	Lautsprecher		X	keine Veränderungen
	Türverkleidung		X	keine Veränderungen
	Dichtungen		X	keine Veränderungen
	Verriegelmechanismus		X	keine Veränderungen
	Dach		X	
	Dachhimmel		X	keine Veränderungen
	Innenraumbelichtung		X	keine Veränderungen
	Überkopfkonsolen		X	keine Veränderungen
	Sonnenblenden		X	keine Veränderungen
	Verkleidung/Akustik	X	X	keine Veränderungen
	Fußmatten		X	keine Veränderungen
	Fußbodenabdeckung		X	keine Veränderungen
	Bodenabdeckung Kofferraum		X	keine Veränderungen
	Pedalerie	X	X	keine Veränderungen

Abb. 9-4: Referenzstruktur konventionelles Fahrzeug – Interieur


	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen
<b>Exterieur</b> 	Gesamtsystem	X	X	
	Frontend/Rearend		X	
	Frontschürze		X	keine Veränderungen
	Heckschürze		X	keine Veränderungen
	Kühlergrill		X	Veränderungen möglich
	Türen und Klappen		X	
	Türaußenblech	X	X	keine Veränderungen
	Außenspiegel (inkl. Verstellung)		X	keine Veränderungen
	Front- und Heckklappe	X	X	keine Veränderungen
	Verglasung		X	
	Windschutzscheibe		X	keine Veränderungen
	Seitenscheibe		X	keine Veränderungen
	Heckscheibe		X	keine Veränderungen
	Fensterrahmen mit Zusatzteilen		X	keine Veränderungen
	Kofflülge	X	X	keine Veränderungen
	Abdeckung und Verkleidung		X	
	Radlauf	X	X	keine Veränderungen
	Abdeckung Windlauf	X	X	keine Veränderungen
	Verkleidung Unterboden	X	X	keine Veränderungen
	Beleuchtung		X	
	Heckleuchten		X	keine Veränderungen
	Scheinwerfer		X	keine Veränderungen
	Nebelscheinwerfer		X	keine Veränderungen
	Blinker		X	keine Veränderungen
	Kennzeichenbeleuchtung		X	keine Veränderungen
	Dach	X	X	
	Schiebe-/Hebedach	X	X	keine Veränderungen
	Wischanlage		X	
	Scheibenwischer		X	keine Veränderungen
	Wischermotor		X	keine Veränderungen
	Scheibenreinigungsanlage		X	keine Veränderungen
	Signalhorn		X	keine Veränderungen
	Schließanlage		X	
	Türschloss		X	keine Veränderungen
	Anbauteile		X	
	Haltebleche/Abdeckbleche/Aufnahmen		X	keine Veränderungen
	Nummernschildhalterung		X	keine Veränderungen
	EA-Schaum Fußgängerschutz		X	keine Veränderungen
	Scharniere/Schlosshaken		X	keine Veränderungen
	Zierleisten		X	keine Veränderungen
	Schriftzüge		X	keine Veränderungen
	Fahrzeugakustik		X	
Dämmmatte Motorraum		X	Veränderungen möglich	
Dämmmatte Stirnwand		X	Veränderungen möglich	
Dämmmatte Rücksitzbank		X	Veränderungen möglich	
Dämmmatte Seitenwand		X	Veränderungen möglich	

Abb. 9-5: Referenzstruktur konventionelles Fahrzeug – Exterieur



	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen
 <p><b>Karosserie</b></p>	Gesamtsystem	X		
	Hinterwagen	X		
	Energieabsorptionselemente	X	X	Veränderungen möglich
	Fahrgastzelle	X		
	Dachblech	X		Veränderungen möglich
	Bodengruppe	X		Veränderungen möglich
	Rückwandblech	X		Veränderungen möglich
	Seitenwandgruppe	X		Veränderungen möglich
	Windlaufblech	X		Veränderungen möglich
	Abschirmblech	X		Veränderungen möglich
	Strukturbauteile	X	X	
	Mitteltunnel	X	X	Veränderungen möglich
	Motorrahmen	X	X	Veränderungen möglich
	Instrumenttafelträger		X	Veränderungen möglich
	Front-Bumpersystem	X	X	Veränderungen möglich
Vorderwagen	X			
Energieabsorptionselemente	X	X	Veränderungen möglich	

Abb. 9-6: Referenzstruktur konventionelles Fahrzeug – Karosserie


	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen
 <p><b>E/E</b></p>	Gesamtsystem		X	
	Fahrwerks-/Antriebs elektronik	X	X	Veränderungen notwendig
	Kommunikation/Entertainment		X	keine Veränderungen
	Stromversorgung		X	Veränderungen möglich
	Komfortelektronik		X	keine Veränderungen
	Bordnetz & Bussystem		X	Veränderungen möglich
	Motormanagement	X	X	Veränderungen notwendig
	Sicherheitselektronik		X	keine Veränderungen

Abb. 9-7: Referenzstruktur konventionelles Fahrzeug – Elektrik / Elektronik



### 9.3 Referenzstruktur batteriebetriebenes Elektrofahrzeug


	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen
<b>Antriebsaggregat</b> 	Gesamtsystem	x	x	
	Elektromotor	x	x	
	Gehäuse Elektromotor		x	Neuteil
	Stator Elektromotor	x	x	Neuteil
	Rotor Elektromotor	x	x	Neuteil
	Motorlager		x	Neuteil
	Motor Kühlsystem		x	
	Kühlmittel-Kühler		x	Verändertes Bauteil
	Kühlerventilator		x	Verändertes Bauteil
	Wärmetauscher-Klimasystem		x	Übernahmeteil
	Thermostat		x	Übernahmeteil
	Kühlwasserpumpe		x	Verändertes Bauteil
	Kühlwasserreservoir		x	Übernahmeteil
	Kühlwasserleitungen, Ventile		x	Übernahmeteil
	Energiespeicher (Batterie)	x	x	
	Batteriegehäuse	x	x	Neuteil
	Stromschienen	x	x	Neuteil
	Kabelbaum HV-Batterie		x	Neuteil
	Batteriepack	x	x	Neuteil
	Isolationswächter		x	Neuteil
	Schützbox und Schütze HV		x	Neuteil
	Batteriekühlung (Luftführung)	x	x	Neuteil
	Sicherungen		x	Neuteil
Service Disconnect	x	x	Neuteil	

Abb. 9-9: Referenzstruktur batteriebetriebenes Elektrofahrzeug – Antriebsaggregat


	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen	
<b>Antriebsstrang</b> 	Gesamtsystem	x	x		
	Getriebe (Eingang-Getriebe)	x	x	Verändertes Bauteil	
	Gehäuse	x	x	Verändertes Bauteil	
	Antriebswelle	x	x	Verändertes Bauteil	
	Abtriebswelle	x	x	Verändertes Bauteil	
	Zahnräder		x	Verändertes Bauteil	
	Lagerungen		x	Verändertes Bauteil	
	Antriebswelle	x	x	Verändertes Bauteil	
	Differential			x	Übernahmeteil

Abb. 9-10: Referenzstruktur batteriebetriebenes Elektrofahrzeug – Antriebsstrang


Fahrwerk	Gesamtsystem			
		Räder		
Felge				x
Reifen				x
Radaufhängung (Mc Pherson vorne, De-Dion hinten)			x	x
Radträger			x	x
Dreiecksquerlenker (vorne)			x	x
Radlager				x
Verbundlenker (Hinterachse)			x	x
Panhardstab (Hinterachse)				x
Längslenker (hinten)			x	x
Radnabe			x	x
Federung & Stoßdämpfer				x
Federn				x
Stoßdämpfer				x
Stabilisator (vorne)				x
Lenksystem			x	x
Zahnstange mit Ritzel			x	x
Lenkgetriebe			x	x
Elektrischer Lenkantrieb				x
Lenksäule			x	x
Zwischenwelle			x	x
Spurstange			x	x
Tragende Elemente			x	x
Chassis-Längsträger			x	x
Achslager				x
Bremssystem (Scheibenbremse vorne, Trommelbremse hinten)				x
Bremssattel				x
Bremskraftverstärker				x
Hauptbremszylinder				x
Bremsbeläge				x
Bremsschläuche				x
Bremsleitungen				x
Bremsscheibe (vorne)				x
Bremsbacken (hinten)				x
Ankerplatte (hinten)			x	
Bremstrommel (hinten)			x	
Radbremszylinder (hinten)			x	
Handbremse			x	
Unterdruckpumpe			x	
ABS/ESP-Steuergerät			x	

Abb. 9-11: Referenzstruktur batteriebetriebenes Elektrofahrzeug – Fahrwerk


Karosserie	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen
		Gesamtsystem	x	x
Hinterwagen		x		Übernahmeteil
Energieabsorptionselemente		x	x	Übernahmeteil
Fahrgastzelle		x		
Dachblech		x		Übernahmeteil
Bodengruppe		x		Übernahmeteil
Rückwandblech		x		Übernahmeteil
Seitenwandgruppe		x		Übernahmeteil
Windlaufblech		x		Übernahmeteil
Abschirmblech		x		Übernahmeteil
Strukturanbauteile		x	x	
Querstrebe Batteriekasten		x	x	Neuteil
Tunnelverstärkung		x	x	Neuteil
Motorrahmen		x	x	Neuteil
Instrumenttafelträger			x	Übernahmeteil
Front-Bumpersystem		x	x	Übernahmeteil
Vorderwagen		x		
Energieabsorptionselemente		x	x	Übernahmeteil

Abb. 9-12: Referenzstruktur batteriebetriebenes Elektrofahrzeug – Karosserie


	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen
<b>Exterieur</b> 	Gesamtsystem	x	x	
	Frontend/Rearend		x	
	Frontschürze		x	Übernahmeteil
	Heckschürze		x	Übernahmeteil
	Kühlergrill		x	Verändertes Bauteil
	Türen und Klappen		x	
	Tür außenblech	x	x	Übernahmeteil
	Außenspiegel (inkl. Verstellung)		x	Übernahmeteil
	Heckklappe	x	x	Übernahmeteil
	Motorhaube	x	x	Übernahmeteil
	Fenster/Glas		x	
	Windschutzscheibe		x	Übernahmeteil
	Seitenscheibe		x	Übernahmeteil
	Heckscheibe		x	Übernahmeteil
	Fensterrahmen mit Zusatzteilen		x	Übernahmeteil
	Kotflügel	x	x	Übernahmeteil
	Abdeckung und Verkleidung		x	
	Radlauf	x	x	Übernahmeteil
	Abdeckung Windlauf	x	x	Übernahmeteil
	Verkleidung Unterboden	x	x	Übernahmeteil
	Beleuchtung		x	
	Heckleuchten		x	Übernahmeteil
	Scheinwerfer		x	Übernahmeteil
	Nebelscheinwerfer		x	Übernahmeteil
	Blinker		x	Übernahmeteil
	Kennzeichenbeleuchtung		x	Übernahmeteil
	Dach	x	x	Übernahmeteil
	Schiebe-/Hebedach	x	x	Übernahmeteil
	Wischanlage		x	
	Scheibenwischer		x	Übernahmeteil
	Scheibenreinigungsanlage		x	Übernahmeteil
	Wischermotor		x	Übernahmeteil
	Signalhorn		x	Übernahmeteil
	Schließanlage		x	
	Türschloss		x	Übernahmeteil
	Anbauteile		x	
Haltebleche/Abdeckbleche/Aufnahmen		x	Übernahmeteil	
Nummernschildhalterung		x	Übernahmeteil	
EA-Schaum Fußgängerschutz		x	Übernahmeteil	
Scharniere/Schlosshaken		x	Übernahmeteil	
Zierleisten		x	Übernahmeteil	
Schriftzüge		x	Übernahmeteil	
Fahrzeugakustik		x		
Dämmmatte Motorraum		x	Verändertes Bauteil	
Dämmmatte Stirnwand		x	Verändertes Bauteil	
Dämmmatte Rücksitzbank		x	Übernahmeteil	
Dämmmatte Seitenwand		x	Übernahmeteil	

Abb. 9-13: Referenzstruktur batteriebetriebenes Elektrofahrzeug – Exterieur


	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen	
<b>Interieur</b> 	Gesamtsystem	x	x		
	Cockpitmodul		x		
	Instrumententafel		x	Übernahmeteil	
	Kombiinstrument		x	Verändertes Bauteil	
	Mittelkonsole		x	Übernahmeteil	
	Zündschloss		x	Übernahmeteil	
	Anzeigen/Warmluchten		x	Übernahmeteil	
	Schalter/Bedienelemente		x	Übernahmeteil	
	Lenkrad		x	Übernahmeteil	
	Weitere Kunststoffteile z.B. Handschuhfach, Lüftungsgitter		x	Übernahmeteil	
	Sitze			x	
	Sitzrahmen			x	Übernahmeteil
	Sitzschiene			x	Übernahmeteil
	Sitzverstellung			x	Übernahmeteil
	Kopfstütze			x	Übernahmeteil
	Rücksitzbank			x	Übernahmeteil
	Verstärkung Sitzfläche Rücksitzbank			x	Übernahmeteil
	Sitzheizung			x	Übernahmeteil
	Insassenschutz			x	
	Fahrer-/Beifahrer-Airbag			x	Übernahmeteil
	Seitenairbags			x	Übernahmeteil
	Airbag-Steuergerät			x	Übernahmeteil
	Crashsensorik Vorderwagenstruktur			x	Übernahmeteil
	Crashsensorik Seitenstruktur			x	Übernahmeteil
	Anschallgurt			x	Übernahmeteil
	Aufnahme Anschallgurt			x	Übernahmeteil
	Gurtstraffer				Übernahmeteil
	Gurtschloss			x	Übernahmeteil
	Klimasystem			x	
	Lüftermotor			x	Übernahmeteil
	Lüftergehäuse			x	Übernahmeteil
	Luftauslass			x	Übernahmeteil
	Luftführungen			x	Übernahmeteil
	Lüfterkasten			x	Übernahmeteil
	Heizkörper			x	Verändertes Bauteil
	Wasser-PTC			x	Neuteil
	Klimakompressor			x	Neuteil
	Kondensator			x	Übernahmeteil
	Klimaleitung			x	Übernahmeteil
	Sensoren Klimaanlage			x	Übernahmeteil
	Verdampfer			x	Übernahmeteil
	Expansionsventil			x	Übernahmeteil
	Türsystem			x	
	Fensterheber (Motor und Mechanik)			x	Übernahmeteil
	Elektrische Spiegelverstellung			x	Übernahmeteil
	Lautsprecher			x	Übernahmeteil
	Türverkleidung			x	Übernahmeteil
	Dichtungen			x	Übernahmeteil
	Verriegelmechanismus			x	Übernahmeteil
	Dach			x	
	Dachhimmel			x	Übernahmeteil
	Innenraumbelichtung			x	Übernahmeteil
	Überkopfkonsolen			x	Übernahmeteil
	Sonnenblenden			x	Übernahmeteil
	Verkleidung/Akustik			x	
	Dämmatten Innenraum			x	Übernahmeteil
	Fußmatten			x	Übernahmeteil
Fußbodenabdeckung			x	Übernahmeteil	
Bodenabdeckung Kofferraum			x	Übernahmeteil	
Pedalerie		x	x	Verändertes Bauteil	

Abb. 9-14: Referenzstruktur batteriebetriebenes Elektrofahrzeug – Interieur

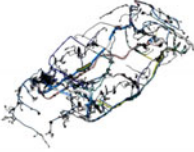
	Bezeichnung (System/Modul/Komponente)	Produktion durch OEM	Produktion durch Zulieferer	Veränderung bei E-Fahrzeugen	
	Gesamtsystem	x	x		
	Bordnetzverkabelung (Hochvolt)		x		
	Verbindung Hochvoltbatterie - DC/AC-Wandler		x	Neuteil	
	Ladekabel Hochvoltanschluss		x	Neuteil	
	Ladekabel Hausanschluss		x	Neuteil	
	Verbindung Hochvoltbatterie - Klimakompressor/Hochvolt-PTC		x	Neuteil	
	Verbindung DC/AC-Wandler - Elektromotor		x	Neuteil	
	Verbindung DC/DC-Wandler/Ladegerät - Ladekabel (Hausanschluss)		x	Neuteil	
	Verbindung DC/DC-Wandler/Ladegerät - Ladekabel (Hochvoltanschluss)		x	Neuteil	
	Ladekabel 12V-Batterie		x	Neuteil	
	Verbindung DC/AC-Wandler - DC/DC-Wandler/Ladegerät		x	Neuteil	
	Bordnetzverkabelung (Niedervolt)				
	Kabelbaum Fahrzeuginnenraum			x	Übernahmeteil
	Sicherungskasten Fahrzeuginnenraum			x	Übernahmeteil
	Kabelbaum Motorraum			x	Übernahmeteil
	Kabelbaum Tür			x	Übernahmeteil
	Kabelbaum Heckklappe			x	Übernahmeteil
	Massekabel 12V-Batterie			x	Übernahmeteil
	Stromversorgung Niedervolt			x	
	Energiespeicher (12V-Batterie)			x	Übernahmeteil
	Niedervoltkomponenten			x	
	Bedienelemente			x	Übernahmeteil
	Fahrzeugbeleuchtung			x	Übernahmeteil
	Komfortelektronik			x	Übernahmeteil
	Sensorik (z.B. Beschleunigung, Gierrate)			x	Übernahmeteil
	Steuergeräte	x		x	Übernahmeteil
	Leistungselektronik - DC/DC-Wandler			x	
	Gehäuse DC/DC-Wandler/Ladegerät			x	Neuteil
	Netzfilter Ladegerät			x	Neuteil
	Steuerungsplatine Ladegerät			x	Neuteil
	Transformator-/Spuleneinheit Ladegerät			x	Neuteil
	Steuerungsplatine DC/DC-Wandler			x	Neuteil
	Kühlplatte			x	Neuteil
	Datenkabel DC/DC-Wandler			x	Neuteil
	Massekabel DC/DC-Wandler			x	Neuteil
	Leistungselektronik - DC/AC-Wandler			x	
	Gehäuse DC/AC-Wandler			x	Neuteil
	Kondensatorpack			x	Neuteil
	Kontaktierung Leistungshalbleiter			x	Neuteil
	Leistungshalbleiter			x	Neuteil
	Stromsensor			x	Neuteil
	Kühlplatte			x	Neuteil
	Sicherung DC/AC-Wandler			x	Neuteil
	Widerstand			x	Neuteil
	Leistungsschiene			x	Neuteil
	Steuerungsplatine DC/AC-Wandler			x	Neuteil
	Datenkabel DC/AC-Wandler - Elektromotor			x	Neuteil
Datenkabel			x	Neuteil	
Interne Verkabelung DC/AC-Wandler			x	Neuteil	
Motormanagement	x		x	Neuteil	
Fahrwerks-/Antriebslektronik	x		x	Verändertes Bauteil	
Bussystem			x	Übernahmeteil	
Kommunikation/Entertainment			x	Übernahmeteil	
Sicherheitselektronik			x	Übernahmeteil	

Abb. 9-15: Referenzstruktur batteriebetriebenes Elektrofahrzeug – Elektrik / Elektronik