



1 Einleitung

1.1 Motivation

Nachhaltig wirkende Entwicklungstrends wie die Verknappung fossiler Energieträger und der fortschreitende Klimawandel nehmen maßgeblichen Einfluss auf die Aktivitäten der Automobilindustrie. Weltweit und insbesondere in den Industrie- und Schwellenländern ist eine fortschreitende Forcierung der Elektromobilität festzustellen.

Die Politik ist bestrebt, mit Hilfe einer geeigneten Gesetzgebung die Schadstoffbelastungen zu reduzieren. Vorgaben zur Senkung der Flottenemissionen von Kohlenstoffdioxid sowie Richtlinien, die bis hin zu emissionsfreien Verkehrszonen in Ballungszentren führen, spielen hierbei eine zentrale Rolle. Daneben ist das Umweltbewusstsein der Fahrzeugkäufer gestiegen, was sich in Forderungen nach verbrauchs- und schadstoffarmen Fahrzeugen widerspiegelt. Nicht zuletzt stellt die begrenzte Verfügbarkeit fossiler Energieträger die Industrie vor die Herausforderung, die Energieversorgung und damit auch die Mobilität zukünftig auf Basis alternativer Energieformen und -träger sicherzustellen [Wal11, S. 3 ff.]

Der Verbrennungsmotor ist heute als traditionelle, dominierende Antriebsform zu betrachten. Konventionelle Fahrzeugkonzepte stellen über Jahrzehnte hinweg etablierte Produkte dar. Der verbrennungsmotorische Antrieb beeinflusst hierbei in großem Maße die Anordnung der übrigen Baugruppen im Fahrzeug, deren funktionale und konstruktive Vernetzung sowie deren geometrische Integration in die Gesamtfahrzeugarchitektur. Beispielhaft sind hier die Ausprägungen des Antriebstranges, der Karosseriestruktur und der Abmessungen sowie der kundenwertigen Fahrzeugeigenschaften zu nennen. Infolgedessen sind die für die Großserienproduktion entwickelten Herstellprozesse und -anlagen der Automobilindustrie an traditionelle Fahrzeugkonzepte geknüpft.

Elektrische Fahrzeugantriebe einschließlich zugehöriger Energiespeicher wurden bis vor wenigen Jahren stets als Nischenlösungen betrachtet. Erste rein elektrisch betriebene Fahrzeuge sind heute am Markt verfügbar und weisen eine wachsende Marktdurchdringung auf: Im Zeitraum der Jahre 2005 bis 2013 haben sich die jährlichen Neuzulassungen von Fahrzeugen mit Hybrid- und Elektroantrieb in der Bundesrepublik Deutschland mehr als verneunfacht. Per 2013 beträgt der Anteil dieser Fahrzeuge an der Gesamtzahl der Neuzulassungen jedoch lediglich 1,1 Prozent [KBA14, S. 13].

Die Entwicklung elektrifizierter Fahrzeuge bedingt den Einsatz neuer Komponenten, die in der konventionellen Automobiltechnik eine untergeordnete Relevanz besitzen. Elektrische Antriebsmaschinen, leistungselektronische Komponenten, Hochvoltbordnetze, Hochvoltbatterie- und Brennstoffzellensysteme sowie Wasserstoffspeicher müssen künftig in großserientaugliche Plattformen und Baukästen integriert werden. Zugleich stellt sich die Frage nach geeigneten Fahrzeugarchitekturen, die sich aufgrund der veränderten Komponentenumfänge deutlich von konventionellen Lösungen unterscheiden können. Daran geknüpft sind Auswirkungen auf kundenrelevante Gesamtfahrzeugeigenschaften, die wiederum den Erfolg neuer Fahrzeugkonzepte am Markt beeinflussen.



Defizite in den technischen und kundenwerten Merkmalen heutiger elektrifizierter Fahrzeuge sind einerseits auf technologische Problemstellungen – beispielsweise in der Antriebs- und Energiespeichertechnologie – zurückzuführen. Andererseits bietet die Entwicklung geeigneter Gesamtfahrzeugkonzepte noch große Verbesserungspotentiale.

Die Auswirkungen auf die Konzeptmerkmale zukünftiger, elektrisch betriebener Fahrzeuge sind nicht hinreichend bekannt und bedürfen fundierter wissenschaftlicher Betrachtungen. Dies schließt die Frage nach neuen technischen Freiheitsgraden und Restriktionen für die Entwicklung kommender Generationen elektrifizierter Fahrzeugkonzepte ein.

1.2 Zielsetzung

Fahrzeugarchitekturen für Batterieelektrofahrzeuge, Brennstoffzellenelektrofahrzeuge sowie verschiedene Hybridisierungsstufen können sich von denen konventioneller Fahrzeuge unterscheiden. Aufgrund der geringen Erfahrungen in der Auslegung elektrifizierter Fahrzeugkonzepte sind die damit einhergehenden Auswirkungen auf das Gesamtfahrzeug und seine Eigenschaften nicht in einem Umfang bekannt, der mit der Wissensbasis im Bereich konventioneller Fahrzeuge vergleichbar ist.

Darüber hinaus unterliegt die technologische Basis der Kernkomponenten – maßgeblich elektrische und chemische Energiespeicher sowie elektrische Antriebssysteme – einer hohen Entwicklungsdynamik. Die in der ersten Generation elektrifizierter Fahrzeuge eingesetzten Systeme stellen erst den Beginn der Entwicklung elektrischer Antriebe und mobiler Energiespeicher für Fahrzeuganwendungen dar. Die Potentiale zukünftiger Technologien und Komponenten einerseits sowie neuer architektureller Freiheitsgrade andererseits sind von großer Bedeutung für die technische und strategische Ausrichtung zukünftiger Entwicklungsaktivitäten der Fahrzeughersteller. Dies betrifft insbesondere das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen relevanten Technologien, Komponenten und Fahrzeugarchitekturen sowie deren Einflüsse auf das Gesamtfahrzeugkonzept (Abbildung 1.1).

Einerseits gilt es, die technischen Potentiale der Kernkomponenten und -technologien zur Darstellung großserientauglicher Fahrzeugkonzepte zu analysieren. Dem gegenüber stehen andererseits neue Freiheitsgrade in der Architekturgestaltung. Eine wesentliche Herausforderung stellt die Betrachtung dieser Problemstellung vor einem chronologischen Hintergrund dar (Kapitel 1.1). Die Entwicklungsdynamik konzeptrelevanter Technologien sowie die strategische Relevanz unterschiedlicher Fahrzeug- und Elektrifizierungskonzepte unter sich verändernden Randbedingungen müssen berücksichtigt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll ein wissenschaftlicher Ansatz zur technischen Ableitung und Bewertung von Konzeptentwürfen für elektrifizierte Fahrzeuge entwickelt werden. Dieser soll die Analyse der beschriebenen konzeptbeeinflussenden Wechselwirkungen erlauben. Von zentraler Bedeutung ist hierbei die Berücksichtigung sowohl funktionaler, als auch geometrischer Abhängigkeiten. Zur Untersuchung der konzeptbeeinflussenden Stellhebel und Wechselwirkungen sind geeignete Methoden und rechnerbasierte Werkzeuge zu entwickeln [Fuc13a, S. 241].



Die Problemstellung ergibt sich aus Perspektive etablierter Automobilunternehmen, die einem Umbruch von der Entwicklung und Herstellung konventioneller Fahrzeuge hin zu Großserienkonzepten für zukünftige elektrisch betriebene Fahrzeuge gegenüber stehen.

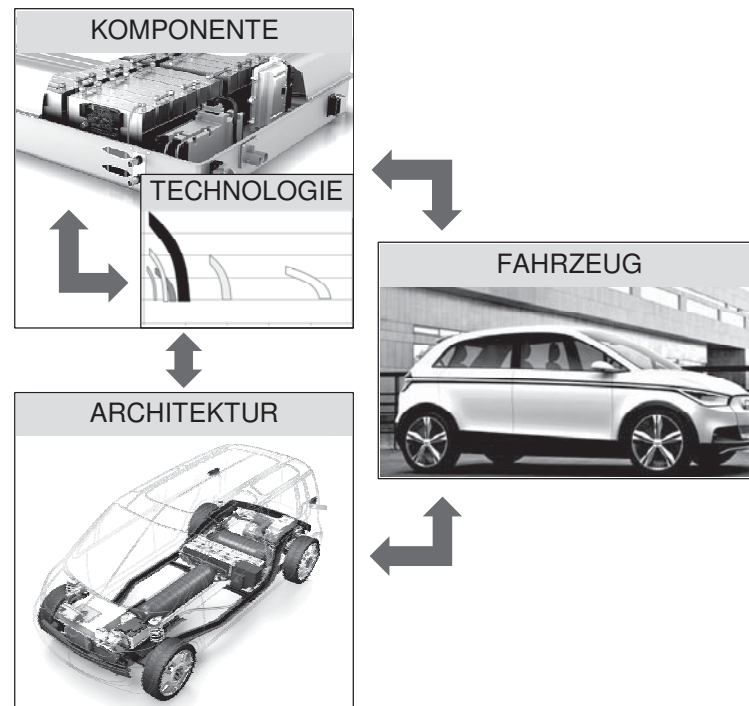


Abbildung 1.1: Problemfeld der Wechselwirkungen zwischen Technologien, Komponenten, Fahrzeugarchitektur und Gesamtfahrzeugkonzept [Fuc13a, S. 240]

1.3 Aufbau der Arbeit

Abbildung 1.2 zeigt die inhaltliche Struktur der vorliegenden Arbeit, die in acht Kapitel gegliedert ist. Eine ausführliche Problemanalyse sowie einen Überblick zum Stand der Technik nimmt Kapitel 2 vor, woraufhin ein Lösungsansatz und damit das weitere Vorgehen abgeleitet werden.

Kapitel 3 stellt Überlegungen zu technischen und marktseitigen Entwicklungstrends dar. Im Rahmen von Kapitel 4 wird ein geeignetes methodisches Vorgehen zur Bearbeitung der Fragestellung entwickelt. Darauf aufbauend stellt Kapitel 5 die Entwurfsmodule und -funktionen der programmtechnisch umgesetzten Auslegungs- und Analyseumgebung vor. Kapitel 6 zeigt deren Anwendung auf ausgewählte Untersuchungsinhalte in Form parameterbasierter Sensitivitätsanalysen sowie detaillierter Konzeptstudien. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse werden Implikationen für die Entwicklung zukünftiger elektrifizierter Fahrzeugkonzepte abgeleitet.

Eine Diskussion der erarbeiteten Ergebnisse sowie des angewandten Vorgehens stellt Kapitel 7 dar. Kapitel 8 gibt eine zusammenfassende Betrachtung der Arbeit sowie einen Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen.



1	Einleitung
2	Erweiterte Problemanalyse und Lösungsansatz
3	Technikstand und Entwicklungstrends elektrifizierter Fahrzeuge
	Vorgehensmodell für die Konzeptauslegung und -analyse
	Entwicklung der Auslegungs- und Analyseumgebung
	Evaluierung ausgewählter Untersuchungsinhalte
7	Diskussion der Ergebnisse
8	Schlussbetrachtungen

Abbildung 1.2: Inhaltlicher Aufbau der Arbeit

2 Erweiterte Problemanalyse und Lösungsansatz

Die Disziplin der Fahrzeugkonzeptentwicklung stellt ein breites Spektrum technischer Herausforderungen und ingenieurwissenschaftlicher Problemstellungen dar. Das folgende Kapitel detailliert die eingangs beschriebene Ausgangssituation und klärt die relevanten Kernaspekte in der Konzeptgestaltung elektrifizierter Fahrzeuge. Darauf aufbauend wird anschließend ein konkreter Lösungsansatz für die vorliegende Problemstellung abgeleitet.

2.1 Fahrzeugkonzeptauslegung in der Automobilindustrie

Die folgenden Abschnitte stellen die organisatorischen und methodischen Rahmenbedingungen für die Fahrzeugkonzeptentwicklung in der industriellen Praxis dar.

2.1.1 Automobilentwicklungsprozess

Der Automobilentwicklungsprozess lässt sich nach [Lie12a, S. 118] in vier Phasen einteilen. Die Prozessphasen und Meilensteine orientieren sich wie in Abbildung 2.1 dargestellt chronologisch am geplanten Produktionsstart des Fahrzeuges (Start of Production, SOP). Je nach Unternehmen ist dieser Prozess in der Praxis unterschiedlich ausgeprägt, weil sich die Schnittstellen und Verantwortungen in den verschiedenen Organisationsstrukturen der OEM unterscheiden. Der grundlegende Ablauf ist jedoch als allgemeingültig zu betrachten.

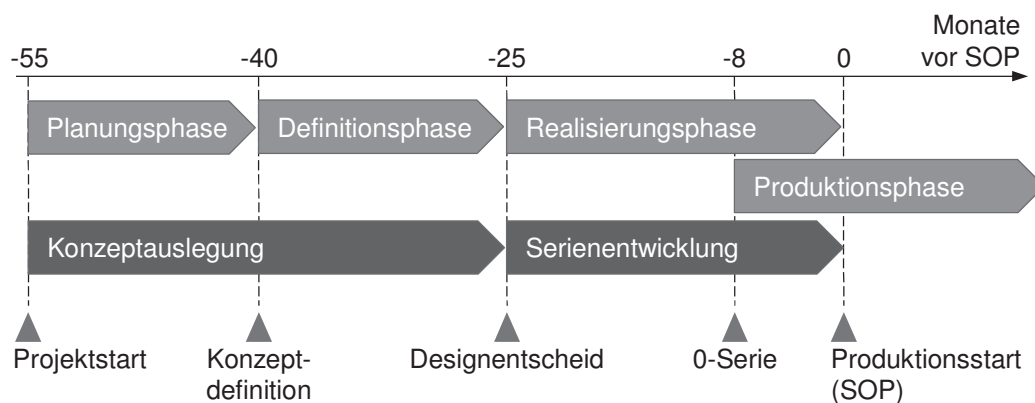


Abbildung 2.1: Automobilentwicklungsprozess nach [Lie12a, S. 118]

Die Erarbeitung des Gesamtfahrzeugkonzeptes erstreckt sich von der ersten Konzeptidee zu Beginn der Planungsphase über die Definition eines Grobkonzeptes (40 Monate vor SOP) bis hin zur konkreten Konzeptdefinition und Übergabe in die Serienentwicklung am Ende der Definitionsphase. In der Realisierungsphase erfolgt die Serienentwicklung, -konstruktion und -absicherung des Fahrzeugprojektes. Die Produktionsphase überschneidet sich mit der Realisierungsphase, weil bereits vor Produktionsstart wesentliche produktionsseitige Anforderungen an das Fahrzeugprojekt in die Serienentwicklung einfließen. Zudem findet der Anlauf der Serienproduktion bereits vor dem Meilenstein SOP statt.

Die Konzeptauslegung selbst zeichnet sich durch ein stark iteratives Vorgehen aus: Die Projektbeteiligten aus den unterschiedlichen Fachdisziplinen nähern sich in dieser Phase einem bestmöglichen Kompromiss aus einer Vielzahl von Anforderungsbereichen, die beispielhaft in Abbildung 2.2 dargestellt sind. Unmittelbar mit der Entwicklung des Fahrzeugkonzeptes geht die Absicherung der Realisierbarkeit über das geometrische Package einher. Durch Integration der Komponenten im Fahrzeug sowie die wechselseitige Überprüfung konstruktiver und funktionaler Merkmale wird die Umsetzbarkeit des Fahrzeugkonzeptes von der Produktidee bis hin zur Serienentwicklung gefestigt [Lie12a, S. 118 ff., 202; Bra11, S. 92 ff.].

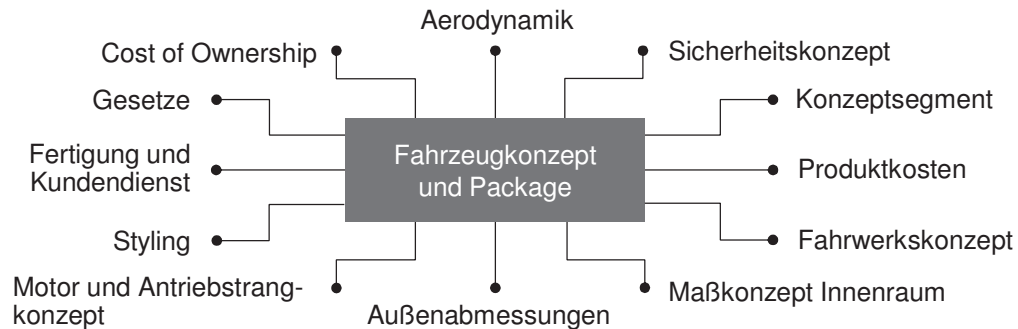


Abbildung 2.2: Auslegungsumfänge von Fahrzeugkonzept und Package nach [Bra11, S. 92]

In der industriellen Praxis stehen vor Beginn der Konzeptauslegung eines neuen Fahrzeuges bereits Daten von Vorgängermodellen oder vergleichbaren Fahrzeugen zur Verfügung. Ein Konzeptentwurf „auf dem weißen Blatt“ ist daher nicht die Regel, stellt jedoch für die Entwicklung neuartiger Konzepte eine Alternative zum traditionellen, evolutionären Vorgehen dar.

2.1.2 Virtuelle Methoden in der Fahrzeugkonzeptauslegung

In der Konzeptauslegung werden bereits maßgeblich kundenrelevante Fahrzeugeigenschaften sowie technische Konzeptmerkmale des Fahrzeuges definiert. Darüber hinaus beeinflusst die Konzeptphase später gelagerte Prozessinstanzen, beispielsweise die Umsetzung des Fahrzeugkonzeptes in Produktion und Montage. Entscheidende Produktmerkmale werden somit zu einem Zeitpunkt beeinflusst und festgelegt, an dem ein großer Teil der daraus resultierenden Auswirkungen noch nicht ausreichend ermittelt werden kann [Lin09, S. 8]. Einen Lösungsansatz hierfür schaffen Methoden, Prozessmodelle und Werkzeuge der virtuellen Produktentwicklung. Darüber hinaus sehen die Prinzipien des Simultaneous Engineering eine integrierte und zeitlich parallelisierte Produkt- und Prozessgestaltung vor. Die in Abbildung 2.1 dargestellten Prozessphasen sind folglich nicht als zwingend sequenziell geschaltete Entwicklungsschritte zu betrachten [Eve05, S. 8-10, 132-145; Sei08, S. 7-42].

Mit Hilfe virtueller Methoden soll bereits in der frühen Konzeptphase ein hoher Reifegrad des Fahrzeugprojektes hergestellt werden. Funktionale und geometrische Konzeptmerkmale werden so weit wie möglich bereits während der Konzeptauslegung ermittelt, sodass die Entwicklungszeit verkürzt und der Reifegrad physischer Prototypen erhöht wird



(Abbildung 2.3). Eine Differenzierung zwischen der Fahrzeugentwicklung auf Basis von Vorgängermodellen und einer Neuentwicklung ohne bestehendes Produkt-Vorwissen ist in [Mat13b, S. 2-3] gegeben. Virtuelle Methoden stellen demnach ein zentrales Instrument dar, um einen schnellen Erkenntnisgewinn bereits in der frühen Phase der Fahrzeugentwicklung zu generieren.

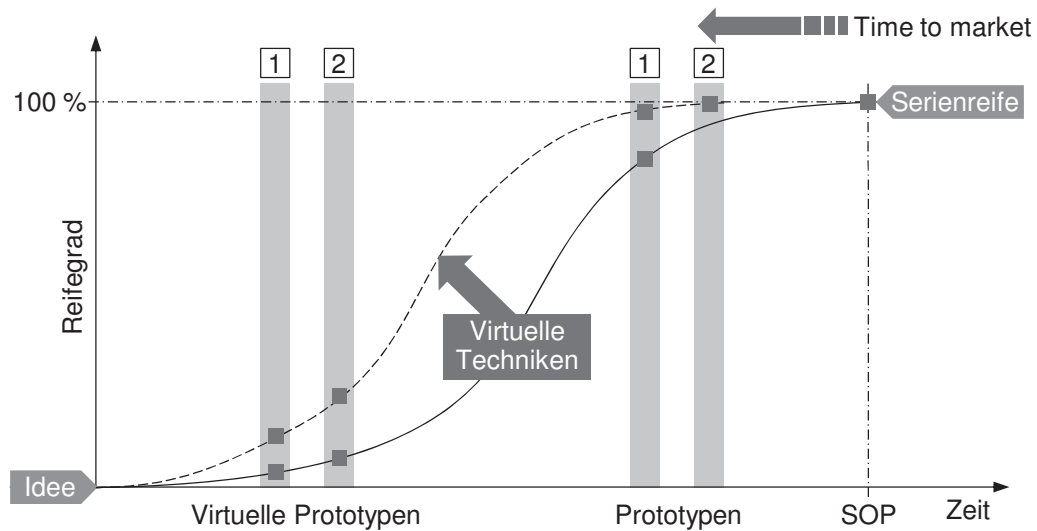


Abbildung 2.3: Erhöhung des Produktreifegrades mit Hilfe virtueller Methoden nach [Sei08, S. 8]

Insbesondere vor dem Hintergrund der steigenden Produkt- und Variantenvielfalt sowie der Etablierung strategischer Produktgestaltungsprinzipien (Plattform- und Baukastensysteme, Kapitel 2.2.3, 2.3.5) hat die virtuelle Produktentwicklung in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen. Die Wechselbeziehungen zwischen Plattform- und Baukastensystemen, der zunehmenden Variantenvielfalt und der Systemkomplexität sowie den Organisationsstrukturen der Automobilunternehmen sind in [Ren07] ausführlich beschrieben.

Als zentrale Instrumente der virtuellen Produktentwicklung gelten CAE-Methoden zur rechnerbasierten Unterstützung der funktionalen und geometrischen Konzeptauslegung. Der Einsatz dieser Methoden ist sowohl in der Automobilindustrie, als auch in anderen Industrie- und Ingenieurdisziplinen Stand der Technik. Das Digital Mock-Up (DMU) hat sich als eines der bedeutendsten Entwicklungswerkzeuge sowohl für die Fahrzeugkonzeptauslegung, als auch für den gesamten Automobilentwicklungsprozess etabliert. Als virtuelle, geometrische Repräsentanz des Fahrzeugprojektstandes fungiert das DMU als Entwicklungs- und Informationsplattform für sämtliche projektbeteiligten Fachdisziplinen [Lie12a, S. 588-595; Ros09, S. 2 ff.; Sei08, S. 62 ff.].

Neben der geometrischen Konzeptgestaltung und -absicherung kommt der funktionalen Auslegung eine besondere Bedeutung zu. Berechnungs- und Simulationen unterstützen die verschiedenen Fachbereiche bei der Komponenten- und Gesamtfahrzeugauslegung. Auf der Ebene des Gesamtfahrzeugentwurfes wird die Simulation der Fahrzeuglängsdynamik zur Ermittlung von Fahrleistungsdaten und Verbräuchen sowie zur Analyse und Optimierung einzelner Antriebstrangkomponenten eingesetzt. Ebenso relevant für den Konzeptentwurf sind Methoden zur Ableitung des Fahrzeuggewichts, das als



eines der zentralen Technikmerkmale nahezu sämtliche Auslegungsbereiche des Fahrzeuges beeinflusst [Lie12a, S. 299-306; Sei08, S. 15, 286-288].

2.2 Architekturen für elektrifizierte Fahrzeugkonzepte

Der Begriff der Fahrzeugarchitektur ist in der Automobilentwicklung nicht allgemeingültig definiert. Oftmals wird er im Sinnzusammenhang mit dem Maßkonzept, der Karosseriestruktur oder der Antriebstopologie verwendet. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit umfasst die Fahrzeugarchitektur sämtliche für den konstruktiven Fahrzeugaufbau relevanten Konzeptmerkmale und Auslegungsdisziplinen (Abbildung 2.4).

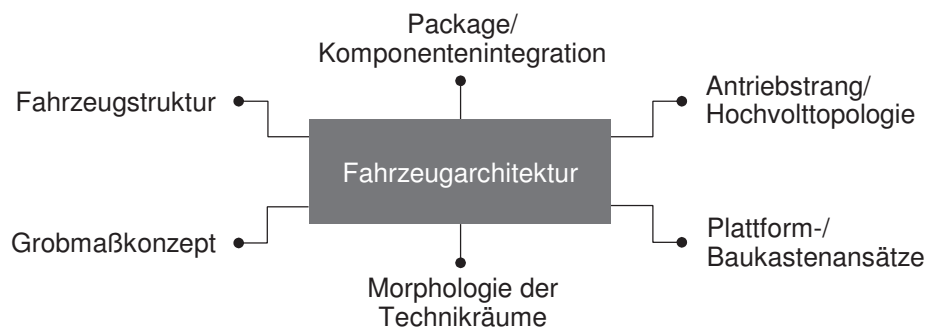


Abbildung 2.4: Umfänge der Fahrzeugarchitektur nach [Fuc12, S. 121]

Wie in [Fuc12, S. 121] dargestellt, zählen hierzu neben der Fahrzeugstruktur das Grobmaßkonzept, das Komponentenpackage sowie die Anordnung und Ausprägung (Morphologie) der Technikräume im Fahrzeug. Eng damit verknüpft sind das Antriebskonzept und die Hochvolttopologie, also das Komponentenpackage für die elektrifizierungsspezifischen Bauteilumfänge. Unter dem Gesichtspunkt großserientauglicher Fahrzeugkonzepte müssen Anforderungen der Plattform- und Baukastenstrategie Berücksichtigung finden (Kapitel 2.2.3, 2.3.5). Insbesondere elektrisch betriebene Fahrzeuge bieten eine große Varianz neuer Architekturausprägungen. In Anlehnung an [May07, S. 10] wird unter dem Architekturbegriff auch der gemeinsame Anteil der geometrischen und funktionalen Randbedingungen aller Fahrzeugvarianten innerhalb einer Produktfamilie verstanden. Damit ergibt sich ein unmittelbarer Bezug zu Produktordnungssystemen, die in Kapitel 2.2.3 weiter erläutert werden.

2.2.1 Elektrifizierungsstufen

Definitionsgemäß besitzt ein Hybridfahrzeug zwei verschiedene Energiespeicher und -wandler, die zu Traktionszwecken eingesetzt werden [Wal06, S. 78]. Die Ausprägung elektrischer Antriebs- und Energiespeicherkomponenten im Fahrzeug ist abhängig vom Grad der Elektrifizierung (auch: Elektrifizierungsgrad), der den Beitrag des elektrischen Antriebs zur Fahraufgabe beschreibt. Diese Definition unterteilt Elektrifizierungskonzepte ausgehend vom konventionellen, verbrennungsmotorisch getriebenen Fahrzeug über die verschiedenen Hybridisierungsstufen bis hin zu rein elektrisch betriebenen Batterie- und Brennstoffzellenelektrofahrzeugen. Mit Blick auf die Umsetzung dieser Konzepte



in Serienfahrzeugen muss der Entwicklungspfad der Elektrifizierung in einem chronologischen Zusammenhang berücksichtigt werden [Fuc12, S. 122-123; Wal11, S. 38-39].

Microhybridkonzepte beeinflussen den eigentlichen Antriebstrang nicht, weil sich die Elektrifizierungsmaßnahmen auf Nebenaggregate beschränken. Per Definition nach [Wal06, S.78] stellen sie keinen Hybridantrieb dar, weil kein elektrischer Beitrag zum Antrieb des Fahrzeuges geleistet wird. Elektrische Eingriffe in den Antrieb nimmt erst die Mildhybridisierung vor, die durch eine Neuauslegung des Startergenerators eine elektrische Boost- und Rekuperationsfunktion ermöglicht. Ein nennenswertes elektrisches Fahren gewährleistet das Vollhybridelektrofahrzeug – wenn auch nur bis zu einer sehr begrenzten Reichweite im einstelligen Kilometerbereich. Plug-In-Hybridelektrofahrzeuge besitzen eine externe Ladeschnittstelle sowie ein elektrisches Antriebssystem, das ein rein elektrisches Fahren in kraftfahrzeugüblichen Nutzungsprofilen ermöglicht. Der Energieinhalt der Traktionsbatterie erlaubt nach dem Stand der Technik elektrische Reichweiten von über 50 Kilometern.

Allen vorgenannten Elektrifizierungskonzepten ist gemein, dass der Verbrennungsmotor nach wie vor eine konzeptbestimmende, dominierende Komponente in der Fahrzeugarchitektur darstellt. Neue Freiheitsgrade in der Auslegung elektrifizierter Fahrzeugarchitekturen – etwa getrieben durch die Anordnungsvarianz von Energiespeicher und Antrieb im Fahrzeug – werden in der Literatur genannt [Pau11, S. 170]. Zum Tragen kommen diese jedoch erst bei vollständigem Entfall des Verbrennungsmotors und der mit ihm assoziierten Komponenten wie Kraftstoffversorgung, Abgasanlage und mechanischer Antriebstrang [Fuc12, S. 122]. Beim Batterieelektrofahrzeug substituieren der elektrische Energiespeicher (Traktionsbatterie) sowie das elektrische Antriebssystem vollständig den verbrennungsmotorischen Antrieb. Der Einsatz von Range-Extendern (Reichweitenverlängerer), etwa auf Basis kleiner Verbrennungsmotoren, stellt das mobile Nachladen von Elektrofahrzeugen sicher und verhindert damit ein Liegenbleiben nach Ausnutzung der elektrischen Reichweite (EREV). Ebenfalls als Range-Extender einsetzbar sind Brennstoffzellensysteme, die jedoch meist die primäre Energiequelle für den elektrischen Antrieb darstellen. Eine Differenzierung hierzu gibt Kapitel 2.3.1.

Micro-Hybrid	Mild-Hybrid	FHEV	PHEV	EREV	BEV	FCEV
Spannungsniveau [V]						
12 - 130		100 - 280		200 - 450, 400 - 800		
Elektrische Antriebsleistung [kW]						
< 15		20 - 50		60 - 120		15 - 300
Energieinhalt Batterie [kWh]						
< 1		0,5 - 2		3 - 15		10 - 85
				10 - 40		1 - 3

Abbildung 2.5: Klassifizierung und Systemmerkmale elektrifizierter Antriebskonzepte nach [Die11a, S. 3; Eis12, S. 168, 178; Koe11, S. 6-9; Kor13, S. 387-388; Lam12, S. 3; Leh12, S. 269; Schi13, S. 129; Tes13]



Abbildung 2.5 fasst wichtige Systemmerkmale elektrifizierter Fahrzeugkonzepte zusammen. Die angegebenen Technikparameter geben jeweils eine repräsentative Größenordnung für Antriebs- und Speichersysteme nach aktuellem Stand der Technik an. Weiterführende Informationen zu den genannten Elektrifizierungsstufen können der Literatur entnommen werden [Bra11, S. 111-146; Hof10, S. 17-54; Rei10, S. 10-22; Wal11, S. 58-83].

2.2.2 Antriebstopologien

Die in Kapitel 2.2.1 genannten Freiheitsgrade in der Gestaltung der Antriebstopologie für elektrisch betriebene Fahrzeuge resultieren in einer hohen Variantenvielfalt. Die wichtigsten Ausprägungen des rein elektrischen Antriebstranges sind in Abbildung 2.6 aufgeführt. Eine differenziertere Strukturierung ist in [Kas12, S. 803] gegeben.

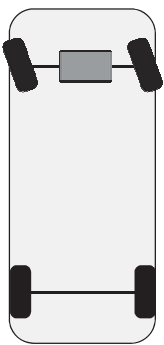
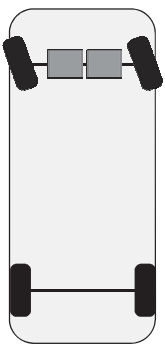
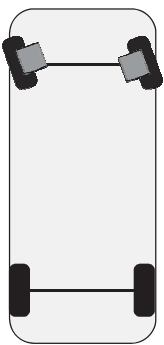
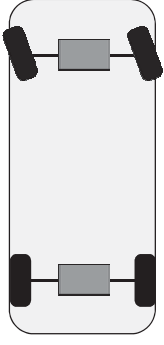
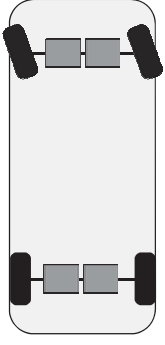
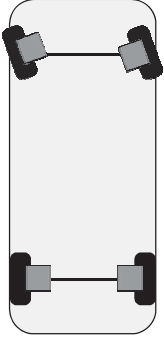
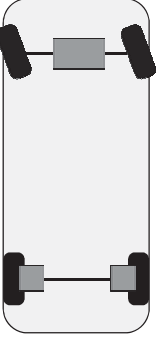
	1 Antrieb je Achse	Radnahe Maschinen	Radintegrierte Maschinen	Kombination (Bsp.)
Frontantrieb Heckantrieb				
Allradantrieb				

Abbildung 2.6: Varianten der Antriebstopologie elektrischer Fahrzeuge

Bei einfachem Front- oder Heckantrieb kann die angetriebene Achse als ein Ein-Maschinen-System einschließlich Getriebe und mechanischem Differential ausgeführt werden. Letzteres kann bei radnahen oder radintegrierten Trieb­sätzen entfallen. Zur Darstellung eines Allradantriebs werden die genannten Trieb­satzvarianten separat an beiden Achsen eingesetzt. Kombinationen sind hierbei ebenfalls möglich. Die Verteilung der Antriebsmomente einer zentral angeordneten Einzelmachine auf beide Achsen ist entgegen den Allradkonzepten verbrennungsmotorischer Fahrzeuge nicht sinnvoll.