
Potenzialanalyse der Modularisierung in der Automobilindustrie für die Freigabe automatisierter Fahrzeuge

Bachelorthesis Nr. 1369/20

Bearbeiter: Nerea Grube Doiz | 2766902

Betreuer: Björn Klamann, M.Sc.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



FAHRZEUGTECHNIK
TU DARMSTADT

Nerea Grube Doiz

Matrikelnummer: 2766902

Studiengang: Bachelor Wirtschaftsingenieurwesen mit technischer Fachrichtung Maschinenbau

Bachelorthesis Nr. 1369/20

Thema: Potenzialanalyse der Modularisierung in der Automobilindustrie für die Freigabe automatisierter Fahrzeuge

Eingereicht: 3. Februar 2021

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet Fahrzeugtechnik

Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner

Otto-Berndt-Straße 2

64287 Darmstadt

Veröffentlicht unter CC-BY 4.0 International

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Erklärung

Erklärung zur Abschlussarbeit gemäß § 22 Abs. 7 und § 23 Abs. 7 APB der TU Darmstadt

Hiermit versichere ich, Nerea Grube Doiz, die vorliegende Bachelor-Thesis gemäß § 22 Abs. 7 APB TU Darmstadt ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Mir ist bekannt, dass im Falle eines Plagiats (§38 Abs.2 APB) ein Täuschungsversuch vorliegt, der dazu führt, dass die Arbeit mit 5,0 bewertet und damit ein Prüfungsversuch verbraucht wird. Abschlussarbeiten dürfen nur einmal wiederholt werden.

Bei der abgegebenen Thesis stimmen die schriftliche und die zur Archivierung eingereichte elektronische Fassung überein gemäß § 23 Abs. 7 APD TU Darmstadt überein.

English translation for information purposes only:

Thesis Statement pursuant to § 22 paragraph 7 and § 23 paragraph 7 of APB TU Darmstadt

I herewith formally declare that I, Nerea Grube Doiz, have written the submitted thesis independently pursuant to § 22 paragraph 7 of APB TU Darmstadt. I did not use any outside support except for the quoted literature and other sources mentioned in the paper. I clearly marked and separately listed all of the literature and all of the other sources, which I employed when producing this academic work, either literally or in content. This thesis has not been handed in or published before in the same or similar form.

I am aware, that in case of an attempt at deception based on plagiarism (§38 Abs. 2 APB), the thesis would be graded with 5,0 and counted as one failed examination attempt. The thesis may only be repeated once.

In the submitted thesis, the written copies and the electronic version for archiving are pursuant to § 23 paragraph 7 of APB TU Darmstadt identical in content.

Matrikelnummer: 2766902

Datum / Date:

03.02.2021

Unterschrift / Signature:

Nerea Grube Doiz

Zusammenfassung

Die höchste Stufe der Automatisierung in Fahrzeugen („volle Automation“, SAE Level 5) ermöglicht das Fahren, ohne dass der Fahrer in jeglicher Hinsicht eingreifen muss. Neben den gesellschaftlichen Vorteilen (Verringerung der Unfallzahl, weniger Staus, Reduktion der CO₂-Ausstöße) ist die Hauptmotivation einer solchen Automatisierung der Komfortgewinn für den Fahrer. Trotz dieser Vorteile findet man zum jetzigen Zeitpunkt noch keine vollautomatisierten Fahrzeuge auf dem Markt. Somit stellt sich die Frage, welche Faktoren die Markteinführung verhindern. Eine große Herausforderung, die momentan eine Zulassung automatisierter Fahrzeuge verhindert, ist das Testen. Die Problematik besteht darin, dass eine Übertragung der Testkonzepte für Fahrerassistenzsysteme (FAS) auf automatisierte Fahrzeuge aufgrund ökonomischer und zeitlicher Hindernisse (Freigabefälle, Parameterraumexplosion) nicht ohne Anpassung möglich ist. Aus diesem Grund wird im Projekt UNICARagil, das 4 vollautomatisierte Fahrzeuge entwickelt, ein modularer Ansatz eingesetzt, der das Gesamtsystem in funktional und physisch relativ unabhängige Subsysteme (Module) aufteilt. Dies ermöglicht u.a. das partikuläre Testen, sodass jedes Modul individuell getestet und somit der Testaufwand durch Parameterraumeinschränkung reduziert werden kann.

Diese Thesis widmet sich einer Potenzialanalyse der Modularisierung zur Freigabe automatisierter Fahrzeuge. Dafür werden auf der Grundlage von Literaturrecherchen unterschiedliche Aspekte der Modularisierung (insbesondere aus wirtschaftlicher Perspektive) betrachtet und analysiert: der Einfluss einer Modularisierung auf die Aufgabenverteilung zwischen Automobilherstellern und Lieferanten, die Auswirkungen dieser Verteilung auf die Entwicklung und Vermarktung der Module bzw. Fahrzeuge und die Grenzen einer Modularisierung. Darüber hinaus wird das Potenzial einer verstärkten Modularisierung (Prinzip des modularen Baukastens) und eines System of Systems bewertet, sodass dessen Auswirkungen auf die Einführung automatisierter Fahrzeuge untersucht werden können. Die Arbeit endet mit einer Analyse der Marktstrukturen aufgrund einer verstärkten Modularisierung.

Durch die Analysen konnten zahlreiche Erkenntnisse gewonnen werden. Eine Modularisierung bewirkt eine große Umstrukturierung der Aufgaben zwischen den Automobilherstellern und den Zulieferern. Die Automobilhersteller müssen sich nun auf die Entwicklung markenprägender Module konzentrieren während die First-Tier-Lieferanten mit der Entwicklung der nicht-markenprägenden Module beauftragt werden. Diese neue Verteilung hat einerseits den Vorteil, dass die Entwicklungszeiten verkürzt werden und somit schneller auf Marktänderungen reagiert werden kann. Andererseits entstehen Schwierigkeiten u.a. beim Austausch von Informationen zwischen den Lieferanten untereinander und zwischen den Automobilherstellern und den Lieferanten bezüglich der Schnittstellen der Module, da die benötigten Informationen oft vertraulich sind. Weiterhin zeigt die Potenzialanalyse der verstärkten Modularisierung, dass diese für die Einführung automatisierter Fahrzeuge vorteilhaft sein kann, u.a., wenn die Funktionen aus den unteren Stufen der Automatisierung kombiniert und in der höchsten Stufe eingesetzt werden können. Auch für die Lieferanten ergibt sich eine Verbesserung durch die verstärkte Modularisierung, da diese zu einer Gleichstellung der Lieferanten und der OEMs bzgl. der Marktmacht führt.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	II
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
1 Einleitung.....	7
1.1 Motivation.....	7
1.2 Konkretisierung der Aufgabenstellung.....	8
1.3 Methodik des Vorgehens.....	9
2 Stand der Technik.....	11
2.1 Definition.....	11
2.2 Besonderheiten.....	14
2.3 Einsatzbereiche.....	17
2.4 Zusammenfassung.....	21
3 Aufgabenverteilung zwischen Automobilherstellern und Zulieferern.....	23
3.1 Grundlagen.....	23
3.2 Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den Zulieferern.....	25
3.3 Zusammenfassung.....	32
4 Grenzen der Modularisierung.....	34
4.1 Die Folgen eines defekten Moduls.....	34
4.2 Schwierigkeiten in Unternehmen bei der Einführung einer Modularisierung.....	36
4.3 Schwierigkeiten bei der Weitergabe von Einflussgrößen beim Testen.....	38
4.4 Zusammenfassung.....	41
5 Verstärkte Modularisierung bis zum System of Systems.....	43
5.1 Verstärkte Modularisierung.....	43
5.1.1 Grundlagen.....	43
5.1.2 Potenzialanalyse der verstärkten Modularisierung.....	46
5.2 System of Systems.....	50
5.2.1 Grundlagen.....	50
5.2.2 Potenzialanalyse des System of Systems.....	53
5.3 Zusammenfassung.....	56
6 Auswirkungen auf die Einführung automatisierter Fahrzeuge.....	58
6.1 Analyse.....	58
6.2 Zusammenfassung.....	62
7 Änderungen der Marktstrukturen.....	63
7.1 Analyse der Marktstrukturen.....	63
7.1.1 Zahl, Größe und Verhalten der Marktteilnehmer.....	64

7.1.2	Vollkommenheitsgrad	67
7.1.3	Produktartbezogene Marktabgrenzung	68
7.1.4	Kundenbezogene Marktabgrenzung	68
7.1.5	Bedürfnisorientierte bzw. kundennutzenbezogene Marktabgrenzung.....	69
7.2	Zusammenfassung.....	70
8	Fazit und Ausblick	71
8.1	Fazit.....	71
8.2	Ausblick	72
Anhang	74
Literaturverzeichnis	78

Abkürzungsverzeichnis

BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
FAS	Fahrerassistenzsysteme
H/B	Schrägheckfahrzeuge
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
MPV	Mehrzweckfahrzeug
OEM	Original Equipment Manufacturer
ProdHaftG	Produkthaftungsgesetz
SAE	Society of Automotive Engineering
SED	konventionelle Limousinen
SoS	System of Systems
SUV	Mehrzweckfahrzeug

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Methodik des Vorgehens	10
Abbildung 2-1: modulare Struktur eines Anhängers (in Anlehnung an Ulrich, K.T., Hrsg: The role of product architecture in the manufacturing firm (1995), S. 6)	12
Abbildung 2-2: integrale Struktur eines Anhängers (in Anlehnung an Ulrich, K.T., Hrsg: The role of product architecture in the manufacturing firm (1995), S. 6)	13
Abbildung 2-3: Modularisierungstypen	14
Abbildung 2-4: serviceorientierte Softwarearchitektur im Projekt UNICARagil	18
Abbildung 2-5: Stufen der Modularisierung in der Automobilbranche.....	19
Abbildung 2-6: gemeinsame Module der Fahrzeuge des Projekts UNICARagil	21
Abbildung 2-7: Skalierbarkeit und Gleichteile im Projekt UNICARagil	21
Abbildung 3-1: Phasen zur Entwicklung eines Produktes (in Anlehnung an Ostertag, R. Hrsg: Supply-Chain-Koordination im Auslauf in der Automobilindustrie (2008), S. 23)	23
Abbildung 3-2: schematischer Ablauf eines Liefernetzwerkes	24
Abbildung 3-3: OEM-Zuliefererpyramide	25
Abbildung 3-4: Aufteilung des Fahrzeugs in Module und Aufgabenverteilung	26
Abbildung 3-5: Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den First-Tier-Lieferanten	27
Abbildung 3-6: Änderung der Wertschöpfungsanteile zwischen den OEMs und den Lieferanten ^b	29
Abbildung 3-7: OEM-Zuliefererpyramide in der modularen Beschaffung	30
Abbildung 3-8: Auswirkungen der Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und Lieferanten auf die Entwicklung und Vermarktung der Module bzw. Fahrzeuge	33
Abbildung 4-1: Auswirkungen eines Fehlers in Fahrzeugen (in Anlehnung an Maurer, M. et al. Hrsg: Autonomes Fahren (2015), S. 619)	35
Abbildung 4-2: Testphasen	39
Abbildung 4-3: Grenzen bei Weitergabe von Informationen und Einflussgrößen	41
Abbildung 5-1: Hochregalprinzip zur Erklärung des modularen Baukastens	43
Abbildung 5-2: modulare Fahrzeugarchitektur „4+1 Common Module Family“ der Renault-Nissan Kollaboration.....	44
Abbildung 5-3:Extensität von Baukastensystemen	46
Abbildung 6-1: Interesse an Vernetzung	59
Abbildung 6-2: Evolution von SAE Level 1 bis 5	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Vor- und Nachteile der Besonderheiten der Modularisierung.....	16
Tabelle 3-1: Eigenleistung oder Fremdbezug in der Modularisierung (in Anlehnung an Schonert, T. Hrsg: interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke in der deutschen Automobilindustrie (2008), S. 202).....	28
Tabelle 3-2: Änderungen der Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den Lieferanten durch die Modularisierung	32
Tabelle 5-1: Übertragung des SoS auf Modulebene am Beispiel der E/E-Architektur im UNICARagil Projekt	55
Tabelle 7-1: Marktformen-Grundschemata (in Anlehnung an Graf, G. Hrsg.: Grundlagen der Volkswirtschaftslehre (2002), S. 68).....	64

1 Einleitung

In der Einleitung werden zur Einführung in die Thematik einige Vorteile des automatisierten Fahrens erwähnt und es wird auf eine der Herausforderungen bei der Markteinführung eingegangen, nämlich das Testen. Auf dieser Grundlage wird der Begriff der Modularisierung vorgestellt. Anschließend erfolgt eine Erläuterung der Aufgabenstellung und Darstellung des Vorgehens.

1.1 Motivation

Die heutige Verkehrsinfrastruktur leidet unter Überlastungen, die zu zeitlichen Verzögerungen, abnehmender Verkehrs- und Energieeffizienz und volkswirtschaftlichen Kosten führt. Allein in Deutschland haben der Parkplatzsuchverkehr und die Staus einen volkswirtschaftlichen Schaden von mehr als 25 Milliarden Euro pro Jahr zur Folge.¹ Um diese Probleme zu lösen, zielt nun die Forschung auf die Einführung autonomer Fahrzeuge, bei denen die Fahraufgabe vollständig von einem System übernommen wird.² Denn selbstfahrende Fahrzeuge bieten gesellschaftliche Vorteile, wie zum Beispiel eine Verringerung der Unfallzahl, weniger Staus und eine Reduktion der CO₂-Ausstöße.³ Die Hauptmotivation für die Einführung autonomer Fahrzeuge ist jedoch der Komfortgewinn, da der Fahrer keine Fahraufgabe mehr durchführen muss.⁴

Insbesondere in Deutschland finden Veränderungen statt, die den Einsatz automatisierter Fahrzeuge vorantreiben. So wurde bspw. 2013 das Gremium „Runder Tisch ‚Automatisiertes Fahren‘“ (RTAF) gegründet, um einen Austausch von Know-how zwischen Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft, Verbänden und Verwaltung zu ermöglichen. Weiterhin hat das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur im Juni 2017 das Gesetz zum automatisierten Fahren verabschiedet, das „die Rechte und Pflichten des Fahrzeugführenden bei der Nutzung automatisierter Fahrfunktionen regelt“.⁵ Doch trotz der großen Fortschritte, die im Bereich des automatisierten Fahrens stattfinden, sind auf dem Markt immer noch keine automatisierten Fahrzeuge verfügbar. Somit stellt sich die Frage, welche Faktoren die Markteinführung verhindern.

Ein Bereich, der zurzeit eine große Herausforderung darstellt, ist die Durchführung von Tests, die die Sicherheit der Fahrzeuge gewährleisten. Denn eine Übertragung der Testkonzepte für Fahrerassistenzsysteme (FAS) auf automatisierte Fahrzeuge ist nicht ohne Anpassung möglich. Dies liegt u.a. darin begründet, dass der Fahrer die Fahraufgabe nicht mehr durchführen muss und somit die Kontrollierbarkeit nicht wie bei FAS bewertet werden kann. Darüber hinaus kann der streckenbasierte Sicherheitsnachweis, d.h. die Freigabe eines Systems basierend auf Realverkehrstests, nicht auf automatisierte Fahrzeuge angewendet werden, da hierfür nach Wachenfeld und Winner⁶ 7 Mrd.

¹ Eckstein, L. et al.: Automatisiertes Fahren (2018), S. 59.

² SAE: Taxonomy and Definitions for Driving Automation, S. 17.

³ Bernhart, W.: Automatisiertes Fahren — Evolution statt Revolution (2015), S. 12.

⁴ Deloitte: Autonomes Fahren in Deutschland (2016), S. 2.

⁵ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Automatisiertes und vernetztes Fahren.

⁶ Wachenfeld, W.; Winner, H.: The Release of Autonomous Vehicles (2016).

Testkilometer notwendig wären (Freigabefälle). Aus diesem Grund erfordert die Freigabe automatisierter Fahrzeuge neue Methoden.^{7a}

Zur Bewältigung dieses Problems wurden bereits einige Ansätze entwickelt, u.a. der szenariobasierte Ansatz, die aber noch keine zufriedenstellende Lösung anbieten. Der szenariobasierte Ansatz besteht darin, kritische Szenarien zu identifizieren und diese simulativ oder auf Testgeländen zu reproduzieren. Jedoch wird die hohe Anzahl an Einflussparametern zum Hindernis. Denn alleine das Szenario Fahrstreifenwechsel führt zu 10^7 möglichen Parameterkombinationen, die beim Testen berücksichtigt werden müssen.^{7a} Dagegen stellt das partikuläre Testen eine vielversprechende Möglichkeit dar, um den Testaufwand zu reduzieren. Das partikuläre Testen basiert auf der Methode der Modularisierung. Diese Methode unterteilt das Gesamtsystem in funktional und physisch relativ unabhängige Subsysteme, d.h. in Module. Als Module können beispielweise einzelne funktionale Ebenen einer funktional dekomponierten Fahrfunktion betrachtet werden (z.B. die Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung). Aufgrund der Unabhängigkeit arbeitet die Funktion eines Moduls relativ unabhängig von der Funktion der anderen Module, solange die anderen Module die Anforderungen erfüllen, die an sie gestellt werden. Somit können die Module individuell getestet werden. Da die meisten Parameter nicht alle funktionalen Ebenen beeinflussen, wird dadurch der Parameterraum verringert. Bspw. beeinflusst die Helligkeit nur die funktionalen Ebenen der Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung. Demzufolge erlaubt diese Parameterraumeinschränkung eine Reduzierung des Testaufwands.^{7b}

Zur Entwicklung vollautomatisierter Fahrzeuge im Rahmen des Projekts UNICARagil wird die Methode der Modularisierung u.a. mit dem Ziel der Reduktion des Testaufwandes eingesetzt. Am Projekt UNICARagil, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird, wird am Fachgebiet Fahrzeugtechnik an der Technischen Universität Darmstadt zusammen mit 7 weiteren Universitäten und 6 Industriepartnern gearbeitet. Im Projekt wird die Entwicklung von 4 vollautomatisierten Fahrzeugen angestrebt: ein fahrerloses Taxi (AUTOtaxi), ein Familienfahrzeug zum Abholen der Kinder oder Einkaufen (AUTOelfe), eine mobile Packstation zum Aufnehmen und Ausliefern von Paketen (AUTOLiefer) und ein öffentliches Verkehrsmittel (AUTOshuttle). Der Fokus des Projekts liegt dabei auf der Automatisierung, Sicherheit, Verifizierung, Validierung und Modularisierung.⁸

1.2 Konkretisierung der Aufgabenstellung

Die Aufgabe dieser Thesis hat als Ziel eine Potenzialanalyse der Modularisierung sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht. Zum besseren Verständnis der Analyse werden im ersten Schritt die Grundlagen der Modularisierung zusammen mit ihren Besonderheiten und Einsatzbereichen beschrieben. Daraufhin folgt eine Beschreibung der Aufgabenverteilung zwischen den Automobilherstellern und den Zulieferern, damit diese anschließend im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Entwicklung und Vermarktung der Module analysiert werden kann. Weiterhin werden die

⁷ Lippert, M. et al.: Definition von Bestehens-/Versagenskriterien (2020), a: S. 4, b: S. 5.

⁸ Woopen, T. et al.: UNICARagil - Disruptive Modular Architectures (2018), S. 3ff.

Grenzen der Modularisierung insbesondere in Bezug auf Tests und Freigabe untersucht und dargestellt. Des Weiteren wird eine verstärkte Modularisierung bis hin zum System of Systems betrachtet, sodass im Anschluss daran in diesen Bereichen eine Potenzialanalyse durchgeführt werden kann. Auf dieser Grundlage wird die verstärkte Modularisierung bezüglich der Auswirkungen auf die Einführung automatisierter Fahrzeuge untersucht. Die Thesis wird mit einer Darstellung und kritischen Diskussion der potentiellen Änderungen der Marktstrukturen aufgrund einer verstärkten Modularisierung beendet.

1.3 Methodik des Vorgehens

Im Wesentlichen wird in dieser Thesis in abwechselnden Phasen von Literaturrecherche und Analyse gearbeitet. Abbildung 1-1 gibt eine Übersicht über die Vorgehensweise.

Die Thesis kann prinzipiell in zwei Themen aufgeteilt werden: Modularisierung (Gleichmodulstrategie) und verstärkte Modularisierung (modularer Baukasten). Die Arbeit beginnt mit der Gleichmodulstrategie. Hier wird im zweiten Kapitel nach einer Literaturrecherche ein Überblick über den Stand der Technik verschafft. Dazu gehören grundlegende Prinzipien zur Gestaltung, Besonderheiten und die Einsatzbereiche von modularen Bauweisen. Dabei liegt bei den Einsatzbereichen der Fokus auf der Automobilbranche. Im nächsten Kapitel wird auf der Grundlage der im zweiten Kapitel erarbeiteten Informationen und einer weiteren Literaturrecherche die Aufgabenverteilung zwischen den Automobilherstellern und den Zulieferern dargestellt. Hierfür wird ein direkter Vergleich der Aufgabenverteilung vor und während der Modularisierung erstellt, um die Änderungen der Aufgabenverteilungen durch die Modularisierung zu verdeutlichen. Diese Informationen und das zweite Kapitel dienen als Basis für die Analyse der Auswirkungen der Aufgabenverteilung auf die Entwicklung und Vermarktung der Module. Im weiteren Verlauf (Kapitel 4) werden die Grenzen der Modularisierung sowohl allgemein als auch konkret in Bezug auf Tests ermittelt. Dafür werden die Informationen der Kapitel 2 und 3 und weitere Literaturen im Zusammenhang mit Tests berücksichtigt. Um die Analyse durchzuführen, werden die einzelnen Schritte bei der Testdurchführung betrachtet und auf mögliche Schwierigkeiten, die durch Modularisierung auftreten können, untersucht. Außerdem werden Extremfälle der Modularisierung analysiert, um weitere Probleme auszuarbeiten. Daraufhin erfolgt der Übergang zur verstärkten Modularisierung. Dieser Abschnitt beginnt ebenfalls mit einer Literaturrecherche, um die Grundlagen einer verstärkten Modularisierung bis hin zum System of Systems zu verdeutlichen. Mithilfe dieser Informationen werden daraufhin die Potenziale einer verstärkten Modularisierung und eines System of Systems ausgearbeitet (Kapitel 5). Die Grundlagen und die erarbeiteten Potenziale des fünften Kapitels werden auf den Bereich des automatisierten Fahrens angewendet, um die Auswirkungen einer verstärkten Modularisierung auf die Einführung automatisierter Fahrzeuge zu ermitteln. Im letzten Kapitel werden zunächst nach einer Literaturrecherche die Grundlagen der Marktstrukturen beschrieben. Anhand dieser Informationen wird eine Marktanalyse durchgeführt, um die Änderungen der Marktstrukturen aufgrund einer verstärkten Modularisierung darzustellen und kritisch zu diskutieren.

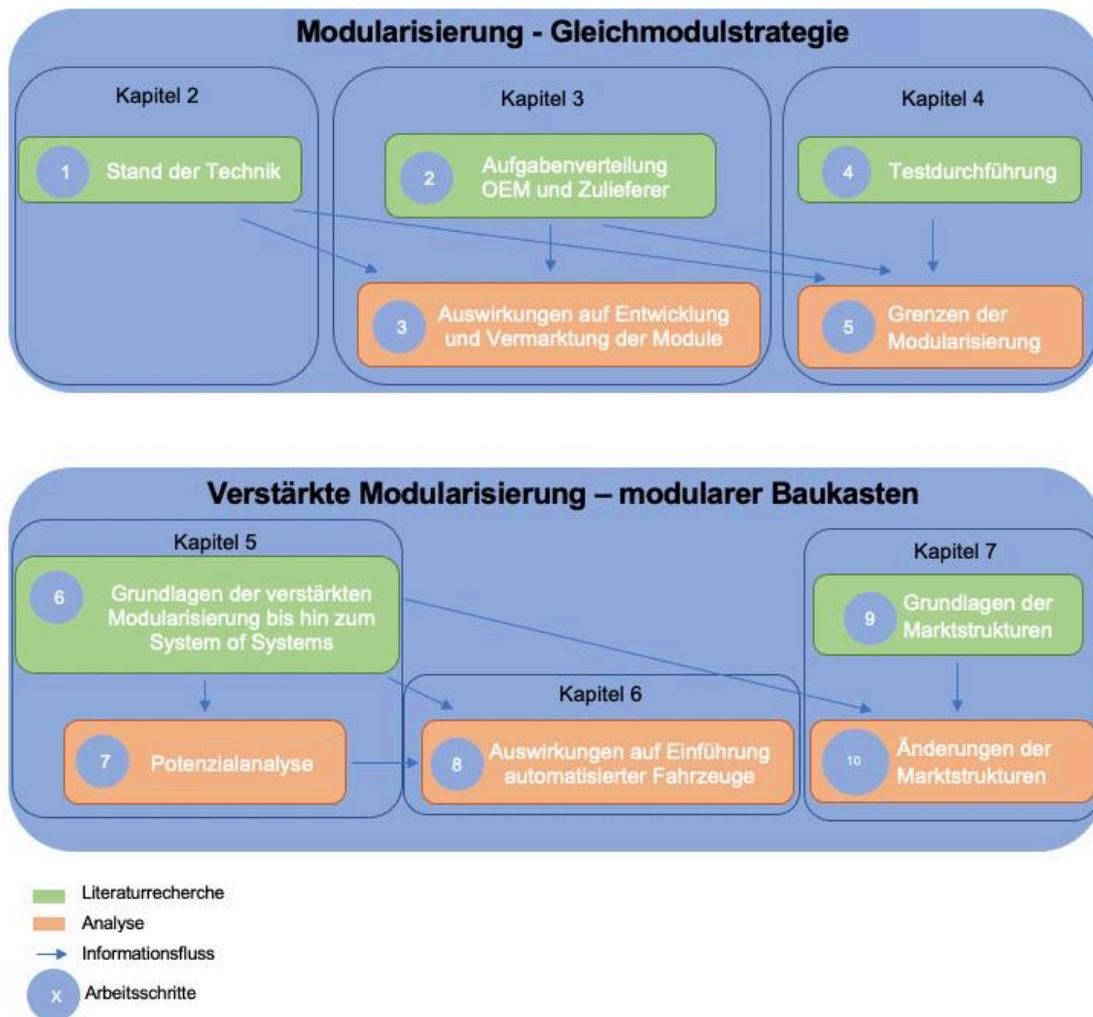


Abbildung 1-1: Methodik des Vorgehens

2 Stand der Technik

Um die folgenden Kapitel vollständig nachvollziehen zu können, ist es zunächst wichtig, die Grundlagen der Modularisierung zu verstehen.

Dieses Kapitel befasst sich mit einer detaillierten Beschreibung der Modularisierung. An erster Stelle erfolgt eine ausführliche Definition der Modularisierung (2.1). Anschließend werden die Besonderheiten, Potentiale und Grenzen der Modularisierung erklärt (2.2). Im Abschnitt 2.3 werden die Einsatzbereiche beschrieben und vor allem wird hier auch die Theorie aus 2.1 auf Beispiele angewendet. Zuletzt (2.4) werden die wichtigsten Informationen des Kapitels zusammengefasst.

2.1 Definition

Die Modularisierung basiert auf 3 Prinzipien: das Unabhängigkeits-, Integritäts- und Dekompositionsprinzip. Der erste Schritt bei der Gestaltung von modularen Produkten besteht darin, ein System in relativ unabhängige Subsysteme (Module) aufzuteilen, sodass die Anzahl und Intensität der Beziehungen zwischen den Subsystemen geringer ist als die Anzahl und Intensität der Beziehungen innerhalb des Subsystems (Unabhängigkeitsprinzip).^{9a} Dabei ist es wichtig, dass sowohl die physische als auch die funktionale Unabhängigkeit erfüllt werden. Unter physischer Unabhängigkeit versteht man die Trennbarkeit von Komponenten. Die funktionale Unabhängigkeit ist maximal gegeben, wenn jede Teilfunktion von genau einer Komponente durchgeführt wird („eins-zu-eins Übersetzung“ oder „one-to-one-mapping“).^{9b} Im zweiten Schritt muss nach dem Integritätsprinzip gleichzeitig garantiert werden, dass die Module als Gesamtprodukt zusammenwirken. Dafür müssen eindeutige Schnittstellen definiert werden, sodass Beziehungen zwischen den unabhängigen Modulen hergestellt werden können.^{9a} An der Stelle betont Sanchez^{10a} die Wichtigkeit von der Erstarrung der Schnittstellen. Das bedeutet, dass ab dem Zeitpunkt, an dem feststeht, dass die definierten Schnittstellen den gewünschten Betrieb des Produktes ermöglichen, diese nicht mehr verändert werden sollten.^{10b} Zuletzt wird durch das Dekompositionsprinzip verlangt, bei Bedarf den Detaillierungsgrad durch weitere Zerlegung der Module erhöhen zu können. Wichtig ist dabei, dass eine weitere Zerlegung nur vorgenommen wird, falls diese nötig ist, damit die Komplexität beherrschbar bleibt.^{9a}

Gründe für die Wahl einer modularen Produktstruktur sind beispielsweise eine einfachere Handhabung von kleineren Bauteilen in der Fertigung und beim Transport, die Wiederverwendung von bestimmten Teilen oder eine größere Freiheit bei der Materialauswahl und Bauteilgestaltung.¹¹ Eine ausführliche Erklärung zu den Besonderheiten folgt in Kapitel 2.2.

Das Gegenstück zur modularen Produktarchitektur stellt die integrale Produktarchitektur dar. In der Integralbauweise wird das Ziel verfolgt, mehrere Funktionen auf ein Bauteil zu übertragen, damit die Komponenten oder das ganze Produkt aus möglichst wenigen Einzelteilen aufgebaut werden kann.

⁹ Göpfert, J.: *Modulare Produktentwicklung* (1998), a: 53f., b: S. 103f, c:108.

¹⁰ Sanchez, R.: *Building Real Modularity Competence* (2013), a: -, b: S. 215.

¹¹ Krause, D.; Gebhardt, N.: *Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien* (2018), S. 84.

Dadurch sind die Komponenten funktional und physisch stark voneinander abhängig. Eine solche Produktarchitektur ermöglicht eine Reduktion von Einzelteilen, Einsparung der Definition der Schnittstellen oder die Verringerung von Montageschritten und Fertigungsmitteln.^{9c}

Ein Anhänger zum Transportieren von Ladungen eignet sich besonders gut, um den Unterschied zwischen einer modularen und integralen Produktstruktur darzustellen.

Abbildung 2-1 zeigt die modulare Bauweise eines Anhängers. Die dargestellte Produktstruktur zeigt den Idealfall („eins-zu-eins Übersetzung“) einer Modularisierung, da jedes Bauteil genau eine Funktion ausführt.

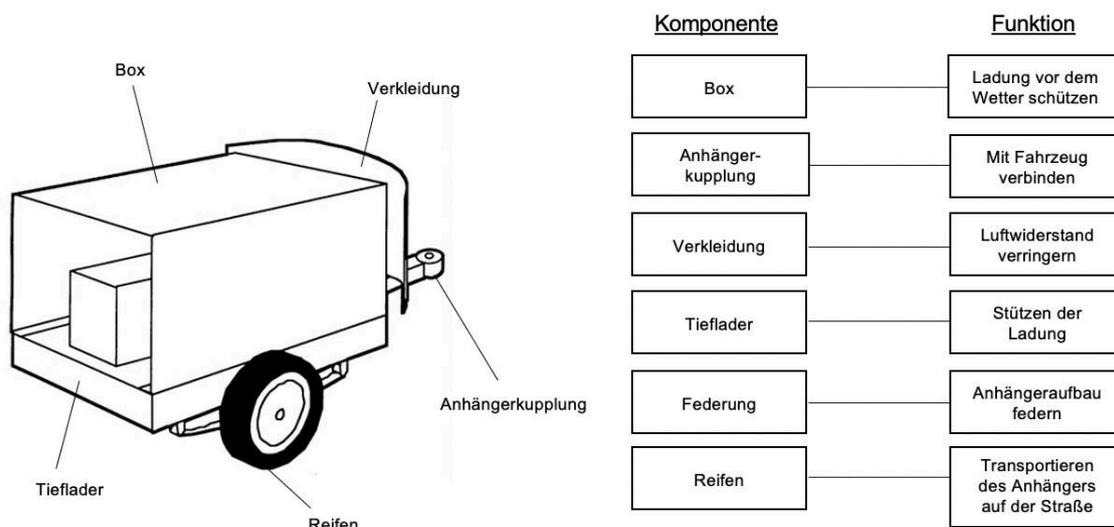


Abbildung 2-1: modulare Struktur eines Anhängers (in Anlehnung an Ulrich, K.T., Hrsg: The role of product architecture in the manufacturing firm (1995), S. 6)

Im Gegensatz dazu werden bei der integralen Struktur einem Bauteil mehrere Funktionen zugeordnet. Beim Anhänger mit der integralen Struktur sind in die obere und untere Hälfte des Anhängers Schlitze geschnitten. Der zwischen zwei Schlitzen verbleibende Materialstreifen wirkt wie eine Blattfeder. Die Ladung wird mit Gurten an den beiden Federn der oberen Hälfte aufgehängt. Die Achse der Räder ist an der Feder in der unteren Hälfte befestigt.¹² Somit ist die untere Hälfte des Anhängers für die Funktionen „Ladung vor dem Wetter schützen“, „Stützen der Ladung“ und „Anhängeraufbau federn“ zuständig. Dadurch entstehen starke funktionale Abhängigkeiten.

¹² Ulrich, K.T.: The role of product architecture (1995), S. 6.

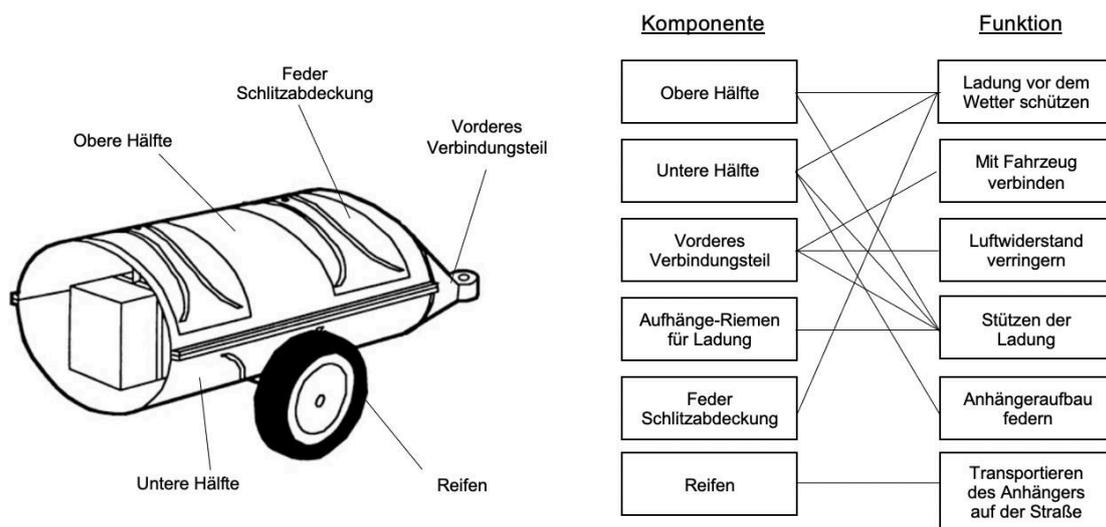


Abbildung 2-2: integrale Struktur eines Anhängers (in Anlehnung an Ulrich, K.T., Hrsg: The role of product architecture in the manufacturing firm (1995), S. 6)

Darüber hinaus kann die Modularisierung auf verschiedene Weisen angewendet werden. Dafür unterscheiden Correia et. al¹³ 5 Arten von Modularisierung, die im Folgenden näher erläutert werden.

- Sektionale (*sectional*) Modularisierung: verschiedene Module können auf beliebige Weise miteinander verbunden werden, solange diese über standardisierte Schnittstellen verbunden sind.
- Komponentenaustausch/-teilung (*swapping/sharing*): Modularität durch Komponentenaustausch liegt vor, wenn zwei oder mehr alternative Typen einer Komponente mit demselben Grundmodul kombiniert werden. Zwei Häuser, die sich nur durch ihre Außenbeschichtung unterscheiden, entsprechen einer Komponentenaustauschmodularisierung. Die Komponententeilung benutzt das umgekehrte Prinzip zum Komponentenaustausch. In diesem Fall wird ein Modul von verschiedenen Produkten gemeinsam benutzt, z.B. der Einsatz desselben Motors in einer Bohrmaschine, eine Schleifmaschine und einer Handstichsäge.
- Passend zugeschnittene (*cut-to-fit*) Modularisierung: Anpassung der Dimensionen einer Komponente und Kombination dieser Komponente mit einer oder mehreren standardisierten Komponenten. Beispielsweise die Kombination von standardisierten Scharnieren oder Griffe mit passgenauen Fenstern.
- Bus (*bus*) -Modularisierung: Verbinden mehrerer unterschiedlicher Komponenten mit einem standardisierten und erweiterbaren Verbindungssystem. Das Verbinden unterschiedlicher elektronischer Komponenten (CPU, Speicher, Laufwerke, usw.) über die Backplane eines Computers stellt ein Beispiel für eine Bus-Modularisierung dar.

¹³ Correia, A.L.; Murtinho, V.: Steel and Modularity in Architecture, S. 2f.

- e. Mix (*mix*)-Modularisierung: ein Produkt entsteht aus unterschiedlichen Komponenten, die nach dem Zusammenfügen nicht mehr in ihren ursprünglichen Zustand werden können (z.B. Mischung von Farben).

Abbildung 2-3 stellt den Unterschied zwischen den 5 Arten der Modularisierung bildlich dar.

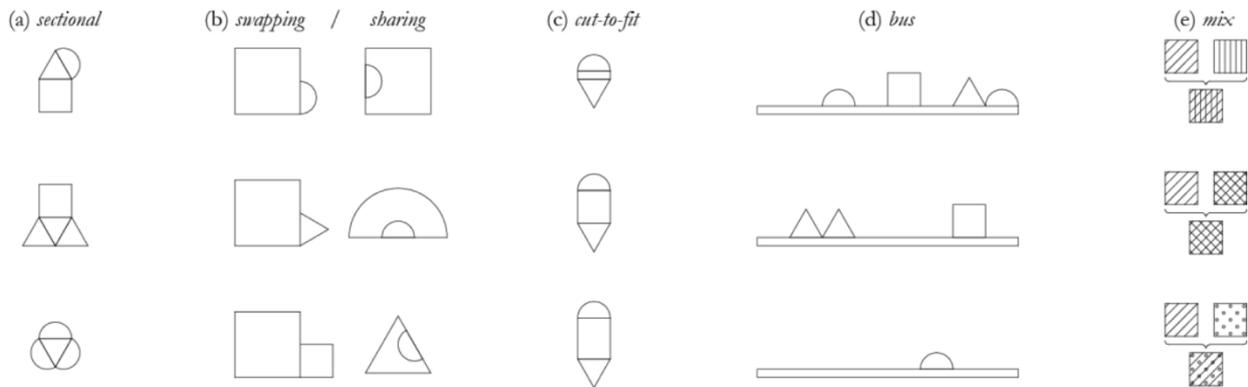


Abbildung 2-3: Modularisierungstypen¹³

2.2 Besonderheiten

Die Anwendung der beschriebenen Prinzipien ermöglicht es, folgende Besonderheiten der Modularisierung auszunutzen: Kontrollierbarkeit, Entkopplung, Austauschbarkeit, Stabilität, Erweiterbarkeit, Wiederverwendung, Hierarchisierung und Kombinierbarkeit. Diese Besonderheiten werden zusammen mit den Potentialen und Grenzen nun detailliert erklärt.

Bereits das Unabhängigkeitsprinzip umfasst zahlreiche Besonderheiten. Aufgrund der Aufteilung der Produktarchitektur in funktional und physisch relativ unabhängige Module kann die Funktion eines Moduls von den restlichen Modulen getrennt *kontrolliert* werden, solange die anderen Module die an sie gestellten Anforderungen erfüllen (partikuläres Testen). Weiterhin wird dadurch die Anzahl der Einflussparameter auf die Module reduziert, sodass der Testaufwand reduziert werden kann.¹⁴ Auch während der Nutzungsphase können defekte Module identifiziert werden. Die getrennte Kontrollierbarkeit ist bei der Entwicklung von autonomen Fahrzeugen eine sehr wichtige Besonderheit, da das Testen aufgrund ökonomischer und wirtschaftlicher Hindernisse eine große Herausforderung darstellt (s. Motivation). Obwohl durch die Kontrollierbarkeit die Komplexität reduziert wird, kann diese unter Umständen aufwendiger als eine Überprüfung des Gesamtproduktes werden, weil jedes Modul einzeln getestet wird. Die *Entkopplung* der Module unter sich durch die Unabhängigkeit der Module begünstigt die Demontage des Produktes. Dies ist vor allem ein großer Vorteil, wenn ein bestimmtes Modul repariert oder gereinigt werden muss. Außerdem ermöglicht die Entkopplung die Trennung des Lebenszyklus von Modulen vom Lebenszyklus des Fahrzeugs und erlaubt folglich eine ständige Verbesserung der Module durch die Einführung von Innovationen. Die Module sind also *austauschbar*. Dagegen erfordert die Entkopplung eine aufwendige Schnittstellenspezifikation, um das Zusammenspiel und gleichzeitig die Lösbarkeit der Subsysteme zu gewährleisten. Außerdem sind die

¹⁴ Lippert, M. et al.: Definition von Bestehens-/Versagungskriterien (2020), S. 5.

austauschbaren Module oft umfangreich und teuer. Die vorgenommenen Veränderungen durch beispielsweise Neuentwicklungen haben aufgrund der schwachen Beziehungen zwischen den Modulen nur einen sehr geringen Einfluss auf andere Module bzw. das Produkt. Demzufolge findet bei Funktionsstörungen eine geringe Fehlerfortpflanzung statt. Somit bieten modulare Produkte den Vorteil einer höheren *Stabilität*. Der Nachteil der Stabilität ist jedoch, dass aufgrund der geringen Fehlerfortpflanzung Fehler erst später erkannt werden. Zudem lassen sich modulare Produkte besonders einfach *erweitern*, da den physischen Einheiten einzelne Funktionen zugeordnet werden. Somit können Produkte durch Hinzufügen zusätzlicher Module nachträglich leicht erweitert werden, denn außer der Herstellung des Moduls müssen keine weiteren produktionstechnischen Veränderungen durchgeführt werden, vorausgesetzt, die Schnittstellen im Produkt sind definiert und haben sich nicht verändert. Bei der Erweiterbarkeit tritt dasselbe Problem wie bei der Entkopplung auf: die aufwendige Festlegung der Schnittstellen. Des Weiteren können bereits entwickelte Module *wiederverwendet* werden, sodass durch Skalen- und Lernkurveneffekten eine Kostensenkung und geringere Fehlerrate erreicht werden kann. Weiterhin reduziert die Wiederverwendung die Komplexität und die Neuartigkeit. Der Nachteil liegt jedoch darin, dass die entstandenen Produkte sich nur wenig unterscheiden, da die gleichen Module eingesetzt werden. Dadurch stellen verschiedene Modelle keine eigenständigen, charakteristischen Produkte dar, sodass die Modelle aus der Perspektive des Käufers gleich erscheinen.¹⁵

Das Dekompositionsprinzip impliziert durch die Strukturierung des Systems in mehrere Ebenen die Bildung einer *Hierarchie*. Durch die Hierarchie entsteht eine übersichtliche Darstellung der Zusammensetzung des Produktes und erleichtert somit dem Nutzer das Verständnis des Produktes. Darüber hinaus können zusammen mit dem Unabhängigkeitsprinzip die Module in verschiedenen Produktionsprozessen hergestellt werden und erst im letzten Produktionsschritt zum Gesamtprodukt zusammengefügt werden, sodass der Produktionsprozess verkürzt werden kann. Im Gegensatz dazu ist der Aufbau insgesamt aufwendiger, da im Extremfall jede Teilfunktion von einer physisch unabhängigen Komponente durchgeführt wird.¹⁵

Zuletzt lassen sich bereits vorhandene Module zu neuen Produkten *kombinieren* (Baukastenprinzip), sodass eine hohe Anzahl an Produktvarianten entsteht. Demgegenüber steht die aufwendige Gestaltung des „Baukastens“ aus verschiedenen miteinander kompatiblen Modulen.¹⁵ Die beschriebenen Vor- und Nachteile der Besonderheiten sind in Tabelle 2-1 zusammengefasst.

¹⁵ Göpfert, J.: Modulare Produktentwicklung (1998), a: S. 112ff.

Tabelle 2-1: Vor- und Nachteile der Besonderheiten der Modularisierung

Besonderheit	Vorteil	Nachteil
Kontrollierbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache und von anderen Modulen unabhängige Überprüfung der Funktionsfähigkeit eines Moduls • Funktionsprüfung vor dem Einbau in das Gesamtprodukt und während der Nutzungsphase • Reduktion des Testaufwands 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufwendiger als eine Überprüfung und ggf. Reparatur des Gesamtproduktes
Entkopplung	<ul style="list-style-type: none"> • Physische Trennbarkeit der Module erleichtern die Demontage des Produktes • Trennung des Lebenszyklus von Modul und Gesamtprodukt 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufwendige Schnittstellenspezifikation
Austauschbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Problemloser Ersatz von Modulen 	<ul style="list-style-type: none"> • Begrenzt auf umfangreiche und teure Module
Stabilität	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Fehlerfortpflanzung • Höhere Zuverlässigkeit des Produktes in der Nutzungsphase 	<ul style="list-style-type: none"> • Späte Erkennung von Fehlern
Erweiterbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Nachträgliche Erweiterung von Produkten durch Hinzufügen zusätzlicher Module 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufwendige Schnittstellenspezifikation
Wiederverwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Geringere Kosten • Geringere Fehlerrate 	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelhafte Produktdifferenzierung

(Fortsetzung der Tabelle 2-1)

Besonderheit	Vorteil	Nachteil
Hierarchisierung	<ul style="list-style-type: none">• Übersichtliche Darstellung der Zusammensetzung des Produktes• Besseres Verständnis durch den Kunden• Verkürzung des Produktionsprozesses	<ul style="list-style-type: none">• Aufbau aufwendiger
Kombinierbarkeit	<ul style="list-style-type: none">• Hohe Anzahl an Produktvarianten• Wenig aufwendiger Produktionsprozess• Individuelle Produktgestaltung	<ul style="list-style-type: none">• Aufwendige Gestaltung des „Baukastens“

2.3 Einsatzbereiche

Aufgrund der zahlreichen Besonderheiten der Modularisierung findet das Prinzip bereits in mehreren Bereichen Anwendung. In der Softwareentwicklung wurde schon sehr früh die Modularisierung als Lösung für die hohe Komplexität eingesetzt. Hier wird der objektorientierte Ansatz verwendet. In diesem Ansatz werden Objekte der Wirklichkeit mit ihren Eigenschaften, ihrem Verhalten und ihren Beziehungen zu anderen Objekten in einem Programm abgebildet und gespeichert. Dabei sind die Objekte relativ unabhängig voneinander und sind somit mit Modulen vergleichbar. Weiterhin beinhalten die Objekte Funktionen, die von ihnen durchgeführt werden können. Die Objekte interagieren untereinander, indem ein Objekt A ein anderes Objekt B zur Durchführung der Funktion des Objekts B auffordert.¹⁶ Der objektorientierte Ansatz darf nicht mit dem serviceorientierten Ansatz verwechselt werden. Im serviceorientierten Ansatz werden Softwarekomponenten in relativ unabhängige Dienste unterteilt, die mit Modulen vergleichbar sind. Die Dienste werden nicht zur Designzeit, sondern zur Laufzeit integriert. Das bedeutet, dass ein Dienst, der Daten aus einem anderen Dienst benötigt erst zur Laufzeit mit dem jeweiligen Dienst verbunden wird. Dieser produziert daraufhin die benötigten Daten. Die Integration und Kopplung von Diensten zur Laufzeit wird von einem Orchestrator geleitet, der situationsabhängig die Verbindungen zwischen den Diensten herstellt. Außerdem laufen alle Dienste immer unabhängig davon, ob sie in der Situation gebraucht werden oder nicht. Wenn sie nicht gebraucht werden, dann laufen diese im Hintergrund, ohne das System zu beeinflussen. Diese Eigenschaft des dienstorientierten Ansatzes stellt einen wichtigen Unterschied zum objektorientierten Ansatz dar, da im letzteren die Objekte nur aktiv werden, wenn diese zur

¹⁶ Göpfert, J.: Modulare Produktentwicklung (1998), S. 194f.

Durchführung ihrer Funktion aufgerufen werden. Als Beispiel für eine serviceorientierte Programmierung dient die Softwarearchitektur, die im Projekt UNICARagil eingesetzt wird. Abbildung 2-4 zeigt, wie die einzelnen Dienste (*Services*) je nach Situation anders kombiniert werden. Während im Zustand des automatisierten Fahrens (*automated driving*) eine bestimmte Verbindung von Diensten durch den Orchestrator hergestellt wird, erfordert der Zustand des Fernbetriebsmodus (*remote operation*) eine andere Verbindung der Dienste.¹⁷

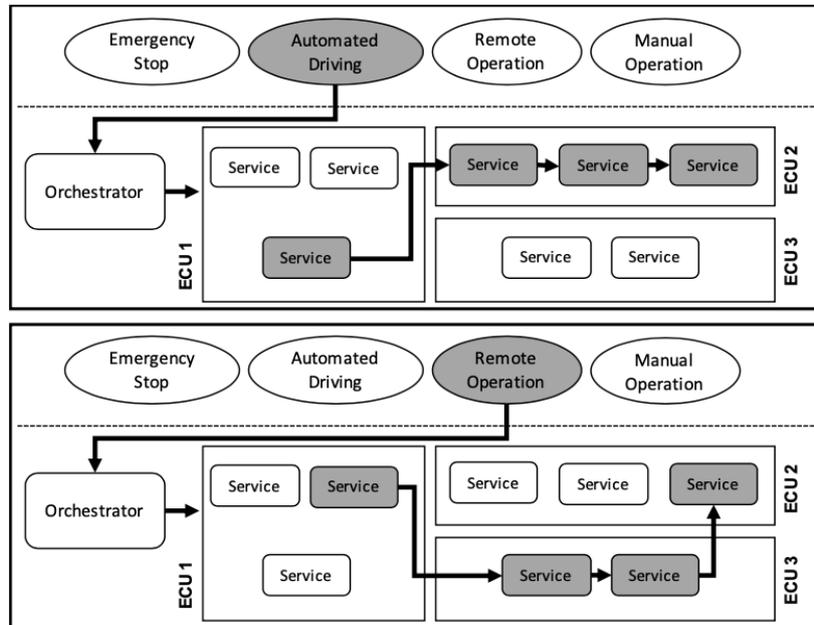


Abbildung 2-4: serviceorientierte Softwarearchitektur im Projekt UNICARagil¹⁷

Für Unternehmen ist es des Weiteren sinnvoll die Organisationsstruktur an dessen Produktstruktur zu orientieren, da die Produktarchitektur die Organisationsstruktur wesentlich beeinflusst und sich in ihr widerspiegelt. Dementsprechend wird bei einer modularen Produktstruktur eine modulare Organisationsstruktur eingesetzt. Andersrum kann eine Organisationsstruktur auch in starkem Maße die Produktarchitektur beeinflussen, sodass ein Unternehmen nicht in der Lage ist, eine gewünschte Produktstruktur einzuführen. Dieses Problem wird näher in Kapitel 4.2 behandelt. Eine modulare Organisationsstruktur besteht darin, komplexe Entwicklungsaufgaben in relativ unabhängige Teilaufgaben zu unterteilen, die auf unterschiedliche und relativ unabhängige organisatorische Einheiten verteilt werden (Unabhängigkeitsprinzip). Organisatorische Einheiten können gesamte Unternehmen, Teams oder auch einzelne Mitarbeiter sein. Dabei ist es wichtig, dass die organisatorische Einheit das entsprechende Wissen und die notwendige Entscheidungskompetenz besitzt. Dadurch, dass zwischen den einzelnen Modulen eines Produktes Schnittstellen definiert werden müssen, damit das Produkt als Ganzes funktioniert, besteht ein Koordinationsbedarf in Form von Wissensaustausch zwischen den organisatorischen Einheiten (Integrationsprinzip). Schließlich muss die Fortsetzung der Dekomposition der Prozesse möglich sein, solange dies sinnvoll erscheint, d.h. bis der dadurch zusätzliche

¹⁷ Woopen, T. et al.: UNICARagil - Disruptive Modular Architectures (2018), S. 14f.

entstehende Koordinationsaufwand den durch die Modularisierung generierte Zusatznutzen überkompensiert.¹⁸

Weiterhin stellt die Modularisierung ein oft angewandtes Prinzip in der Automobilindustrie dar. Hier können unterschiedliche Stufen der Modularisierungsstrategie unterschieden werden: die Plattformstrategie, die Modulstrategie und die Baukastenstrategie (s. Abbildung 2-5).^{19a}

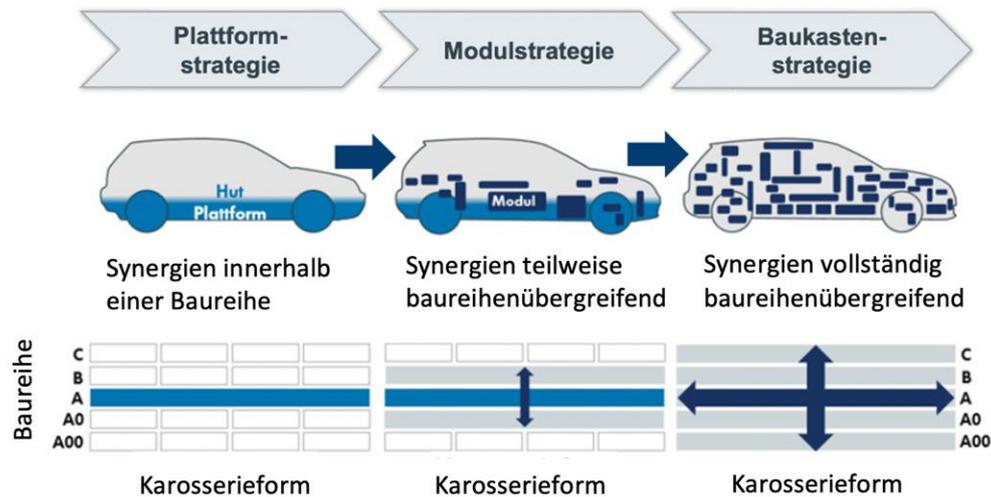


Abbildung 2-5: Stufen der Modularisierung in der Automobilbranche^{19a}

Bevor die Unterschiede zwischen den Modularisierungsstrategien deutlich dargestellt werden, werden im Folgenden die Begriffe „Baureihe“ und „Karosserieform“ anhand eines Beispiels kurz definiert. Eine Baureihe entspricht einem Modell eines Fahrzeugs. Der Automobilhersteller Opel bietet beispielsweise zahlreiche unterschiedliche Baureihen an, wie zum Beispiel, die Modelle Adam, Corsa, Insignia, Mokka, usw. Dabei werden innerhalb der Baureihe Insignia zwei Karosserieformen angeboten: Limousine und Kombi.

Bei der Plattformstrategie bestehen die Fahrzeuge aus einer Plattform und einem Hut. Eine Fahrzeugplattform ist eine technische Basis, die keinen Einfluss auf das Äußere des Automobils hat, sondern nur die grundlegenden Dimensionen des Fahrzeugs (Länge, Breite und Radstand) festlegt. Außerdem fasst die Plattform die physikalischen Elemente eines Fahrzeugs zusammen, die in verschiedenen Karosserieformen und innerhalb einer Baureihe gemeinsam benutzt werden. Welche Elemente in eine Plattform integriert werden, wird danach bestimmt, was aus Kundensicht wenig zur Differenzierung dient.^{19b} Volkswagen baute zum Beispiel in den 1990er Jahren Aggregate, Achsen, Lenkung, Schaltung, Bremsen, Tanks, Abgasanlage, Reifen, Vorder- und Hinterwagen und die Hauptfahrzeugelektronik auf der Plattform fest ein.²⁰ Weiterhin ist es wichtig, dass die Dimensionen der Plattformen skalierbar sind, damit diese über unterschiedliche Karosserieformen eingesetzt werden können. Der

¹⁸ Göpfert, J.: Modulare Produktentwicklung (1998), S. 171ff.

¹⁹ Hoffmann, C.-A.: Produkt- und produktionsseitige Strukturierungskonzepte (2018), a: S. 50, b: S. 41, c: S. 43.

²⁰ Hüttenrauch, M.; Baum, M.: Effiziente Vielfalt (2008), S. 129.

Fahrzeughut besteht aus den restlichen Bauteilen, die auf der Plattform eingesetzt werden. Diese sind in jeder Karosserieform und Baureihe unterschiedlich.^{19b}

Die Modulstrategie basiert auf der Plattformstrategie. Bei der Modularisierung wird das Fahrzeug in Einheiten unterteilt, die unabhängig voneinander entwickelt, konstruiert und beschafft oder produziert werden können.^{21a} Weiterhin besteht diese Strategie darin, bestimmte Module (sog. „carry over parts“) von einer Produktgeneration unverändert in die nächste zu übernehmen, sodass das gleiche Modul in mehreren Produkten eingesetzt wird.^{19c} Somit entspricht diese Strategie dem Modularisierungstyp der Komponententeilung (s. S. 13). Besonders wichtig ist es dabei, dass die Schnittstellen standardisiert werden, damit eine Plattform verschiedene Module (z.B. unterschiedliche Motor-/Getriebemodule) aufnehmen kann, ohne dass diese oder der Montageprozess verändert werden müssen.²² In der Modulstrategie werden die Synergien karosserieübergreifend und teilweise baureihenübergreifend benutzt.²³

Die letzte Stufe der Modularisierung stellt die Baukastenstrategie dar. Diese Strategie beginnt wie in der Modulstrategie mit der Einteilung des Fahrzeugs in Module. Jedoch werden in diesem Fall unterschiedliche Arten eines Moduls erstellt. Anschließend werden unterschiedliche Module kombiniert, um mehrere Produktvarianten zu erstellen.²⁴ Diese Strategie gleicht also einer sektionalen Modularisierung (s. S.13). Im Gegensatz zur Modulstrategie werden in einem modularen Baukasten die Synergien vollständig sowohl karosserieform- als auch baureihenübergreifend ausgenutzt.²³ Dieses Prinzip wird in der Thesis auch als verstärkte Modularisierung bezeichnet und wird im Kapitel 5.1 näher betrachtet.

Der Unterschied zwischen einer Modulstrategie und einer modularen Baukastenstrategie wird deutlicher, wenn die Ziele verglichen werden. Die Baukastenbauweise zielt vielmehr auf die Schaffung von externer Varianz bei möglichst geringer interner Varianz. Dagegen liegt bei der Modulstrategie der Fokus auf dem Prozess, denn durch die Aufteilung in unabhängige Module und die wiederholte Verwendung wird der gesamte Prozess (Entwicklung, Beschaffung, Produktion, Montage) stark vereinfacht.^{21b}

Ein gutes Beispiel der Modulstrategie stellt die Architektur des Projekts UNICARagil dar. Denn hier haben alle 4 Fahrzeuge (AUTOtaxi, AUTOelfe, AUTOliefer, AUTOshuttle) nicht nur eine gemeinsame skalierbare Plattform, sondern auch gemeinsame Module, die in Abbildung 2-6 dargestellt werden.²⁵

²¹ Renner, I.: Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung (2007), a: S. 69, b: S. 70f.

²² Siddique, Z. et al.: On the Applicability of Product Variety, S. 4.

²³ Hoffmann, C.-A.: Produkt- und produktionsseitige Strukturierungskonzepte (2018), S. 50.

²⁴ Technische Universität Braunschweig et al.: Die Produktarchitektur in der Produktentwicklung (2019), S. 273.

²⁵ Woopen, T. et al.: UNICARagil - Disruptive Modular Architectures (2018), S. 5.

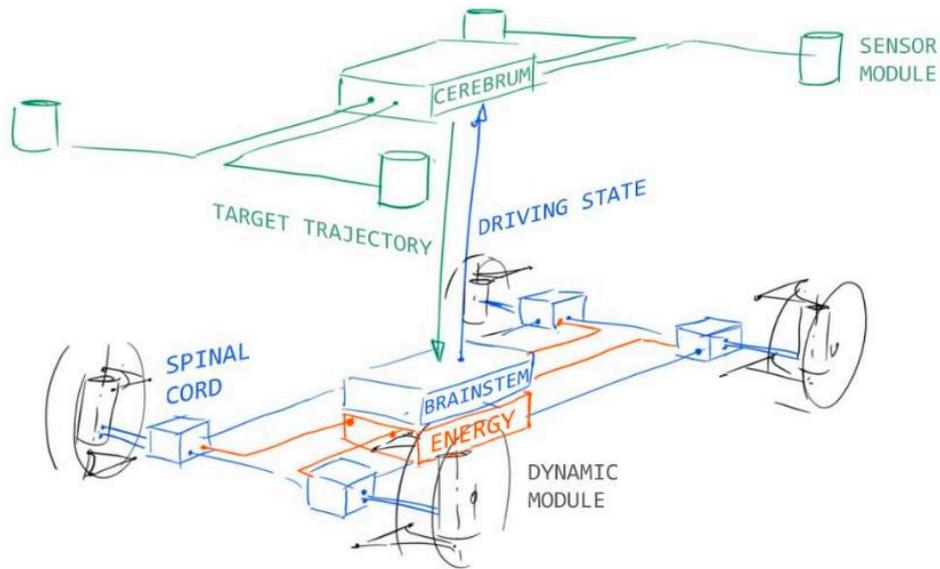


Abbildung 2-6: gemeinsame Module der Fahrzeuge des Projekts UNICARagil²⁵

Die Skalierbarkeit der Plattform und weitere Gleichteile werden in Abbildung 2-7 dargestellt.

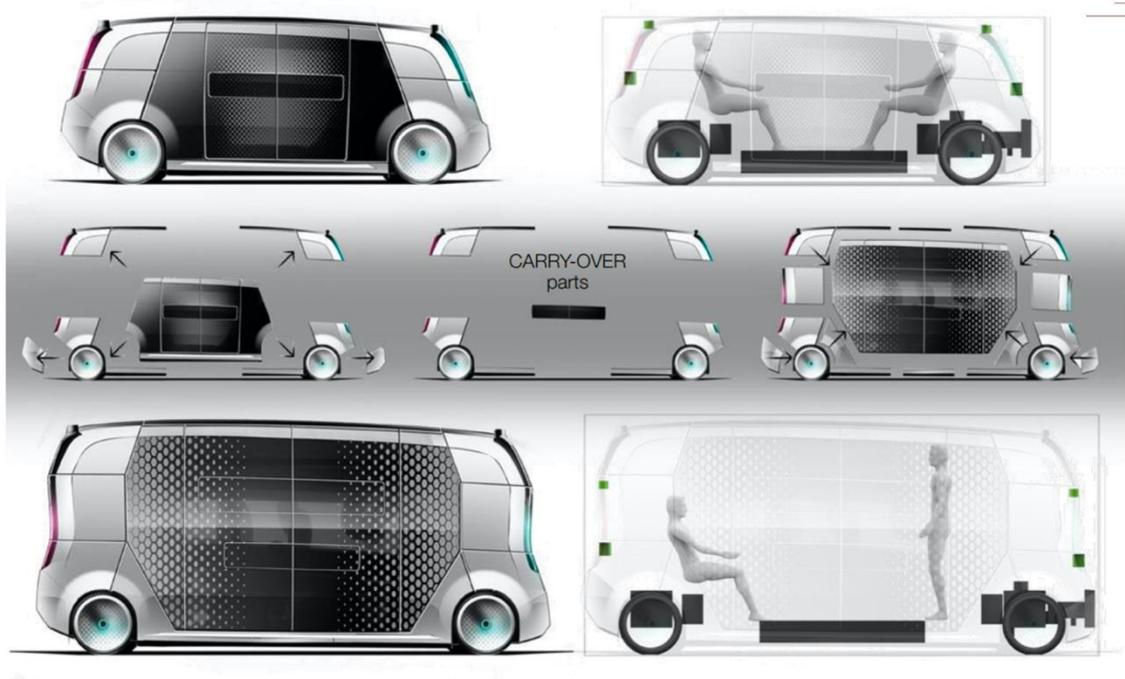


Abbildung 2-7: Skalierbarkeit und Gleichteile im Projekt UNICARagil²⁶

2.4 Zusammenfassung

Im Folgenden werden die wichtigsten Informationen des Kapitels stichpunktartig zusammengefasst, die vor allem für das Verständnis des nächsten Kapitels nötig sind.

²⁶ Buchholz, M.: Modulares Fahrzeugkonzept im Projekt UNICARagil (2020), S. 6.

-
- Die modulare Gestaltung eines Produktes erfolgt in zwei Schritten: Aufteilung des Systems in funktional und physisch relativ unabhängige Subsysteme (Unabhängigkeitsprinzip) und Definition der Schnittstellen, sodass die Subsysteme untereinander interagieren und das System als Ganzes funktioniert (Integritätsprinzip). Nach dem Dekompositionsprinzip müssen zudem die Subsysteme weiter aufteilbar sein, solange dadurch ein zusätzlicher Nutzen entsteht.²⁷
 - Modulare Architekturen zeichnen sich durch folgende Besonderheiten aus: Kontrollierbarkeit, Entkopplung, Austauschbarkeit, Stabilität, Erweiterbarkeit, Wiederverwendung, Hierarchisierung und Kombinierbarkeit.^{27b}
 - In der Organisation wird die Modularisierung angewendet, indem komplexe Entwicklungsaufgaben in relativ unabhängige Teilaufgaben unterteilt, die auf unterschiedliche und relativ unabhängige organisatorische Einheiten verteilt werden. Die organisatorischen Einheiten müssen untereinander kommunizieren und sich koordinieren, damit die Schnittstellen zwischen den Teilaufgaben berücksichtigt werden. Die Teilaufgaben werden weiter aufgeteilt, bis der zusätzliche entstehende Koordinationsaufwand den durch die Modularisierung generierte Zusatznutzen überkompensiert.^{27c}
 - In der Automobilbranche können unterschiedliche Stufen der Modularisierung unterschieden werden: die Plattformstrategie, die Modulstrategie und die Baukastenstrategie. Die Plattform ist eine technische Basis, die keinen Einfluss auf das Äußere des Automobils hat, sondern nur die grundlegenden Dimensionen des Fahrzeugs (Länge, Breite und Radstand) festlegt. Außerdem fasst die Plattform die physikalischen Elemente eines Fahrzeugs zusammen, die in verschiedenen Karosserieformen innerhalb einer Baureihe gemeinsam benutzt werden.²⁸ Bei der Modularisierung wird das Fahrzeug in Einheiten (Module) unterteilt, die unabhängig voneinander entwickelt, konstruiert und beschafft oder produziert werden können.²⁹ Diese Module können von einer Produktgeneration unverändert in die nächste zu übernommen werden, sodass Synergien karosserieübergreifend und teilweise baureihenübergreifend genutzt werden.^{28b} In der Baukastenstrategie werden unterschiedliche Arten eines Moduls erstellt. Anschließend werden unterschiedliche Module kombiniert, um mehrere Produktvarianten zu erstellen.³⁰ In diesem Fall werden die Synergien vollständig karosserieform- und baureihenübergreifend ausgenutzt. Im weiteren Verlauf wird eine Modulstrategie betrachtet.

²⁷ Göpfert, J.: Modulare Produktentwicklung (1998), a: S. 53f, b: 112ff, c: S. 171ff.

²⁸ Hoffmann, C.-A.: Produkt- und produktionsseitige Strukturierungskonzepte (2018), a:S. 41, b: S. 43.

²⁹ Renner, I.: Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung (2007), S. 69.

³⁰ Technische Universität Braunschweig et al.: Die Produktarchitektur in der Produktentwicklung (2019), S. 273.

3 Aufgabenverteilung zwischen Automobilherstellern und Zulieferern

Im Kapitel 2 wurde gezeigt, dass die Modularisierung ein oft angewandtes Prinzip in der Automobilbranche darstellt. Das folgende Kapitel geht der Frage nach, wie sich die Aufgabenverteilung zwischen den Automobilherstellern und Zulieferern bei der Entwicklung von Fahrzeugen aufgrund einer Modularisierung verändert. Dafür werden zunächst einige wichtige Grundlagen des Liefernetzwerkes behandelt. Im Anschluss daran wird der Entwicklungs- und Produktionsablauf von Fahrzeugen vor und nach dem Einsatz der Modularisierung analysiert, um Rückschlüsse auf die Änderungen der Aufgabenverteilung zwischen den Automobilherstellern und Zulieferern zu ziehen. Gleichzeitig werden die Auswirkungen der Modularisierung auf die Entwicklung und Vermarktung der Fahrzeuge untersucht.

3.1 Grundlagen

Im Allgemeinen muss der Automobilhersteller (OEM) folgende Phasen zur Fahrzeugherstellung durchlaufen: Forschung und Entwicklung (FuE), Beschaffung, Produktion, Distribution und Absatz (s. Abbildung 3-1). Im ersten Schritt werden ausgehend von einer Produktidee mittels Forschung und Entwicklung Anforderungen erarbeitet und eine Produktstrategie entwickelt, sodass ein Produktkonzept entsteht. Anschließend wird der für das Produkt notwendige Materialbedarf ermittelt und an Lieferanten übermittelt. In dieser Phase können evtl. auch Kooperationen mit anderen OEMs zur Materialbeschaffung eingegangen werden. Die gelieferten Materialien und/oder Teile durchlaufen dann die Phase der Produktion, die auf Grundlage einer Produktionsstrategie und Kapazitätsplanung optimiert wird. Die fertigen Produkte werden daraufhin von den Produktionsstätten an die Verkaufsfilialen der Automobilhersteller oder markenunabhängiger Automobilhändler transportiert, wo sie an die Kunden verkauft werden.^{31a} Im weiteren Verlauf sind die Phasen der FuE, Beschaffung und Produktion wichtig (in Abbildung 3-1 rot markiert), da diese bei der Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den Lieferanten eine bedeutende Rolle spielen.



Abbildung 3-1: Phasen zur Entwicklung eines Produktes (in Anlehnung an Ostertag, R. Hrsg: Supply-Chain-Koordination im Auslauf in der Automobilindustrie (2008), S. 23)

³¹ Ostertag, R.: Supply-Chain-Koordination in der Automobilindustrie (2008), a: S. 23, b: S. 44.

Am Liefernetzwerk eines Fahrzeugs sind unterschiedliche Parteien beteiligt. Es läuft folgendermaßen ab^{31b}:

1. Treiber des Liefernetzwerkes ist der Automobilhersteller. Dieser plant auf Basis seines externen Bedarfs optimale Pläne für die Beschaffung, Produktion, Distribution und den Absatz.
2. Der OEM teilt dem First-Tier-Lieferanten seine Pläne in Form eines Lastenheftes mit, in dem die Bestellungen im Kurzfristzeitraum und eine mittelfristige Bedarfsprognose beschrieben sind. Der First-Tier-Lieferant übernimmt somit die Verantwortung über die termin- und mengengerechte Belieferung des OEMs.
3. Der First-Tier-Lieferant erstellt einen optimalen Plan für die Beschaffung, Produktion, Distribution und den Absatz seines Bedarfs auf der Grundlage des Lastenheftes des OEMs und seines eigenen externen Bedarfs.
4. Der First-Tier-Lieferant teilt dem Second-Tier-Lieferanten seine Pläne in Form eines Lastenheftes mit, in dem die Bestellungen im Kurzfristzeitraum und eine mittelfristige Bedarfsprognose beschrieben sind. Der Second-Tier-Lieferant übernimmt somit die Verantwortung über die termin- und mengengerechte Belieferung des First-Tier-Lieferanten.
5. Der Second-Tier-Lieferant erstellt einen optimalen Plan für die Beschaffung, Produktion, Distribution und den Absatz seines Bedarfs auf der Grundlage des Lastenheftes des First-Tier-Lieferanten und seines eigenen externen Bedarfs.
6. Der Second-Tier-Lieferant teilt dem Third-Tier-Lieferanten sein Lastenheft mit. Die Schritte werden solange wiederholt, bis die Stufe des Rohstofflieferanten (n-Tier-Lieferant) erreicht wird.

Der beschriebene Ablauf wird in Abbildung 3-2 veranschaulicht.

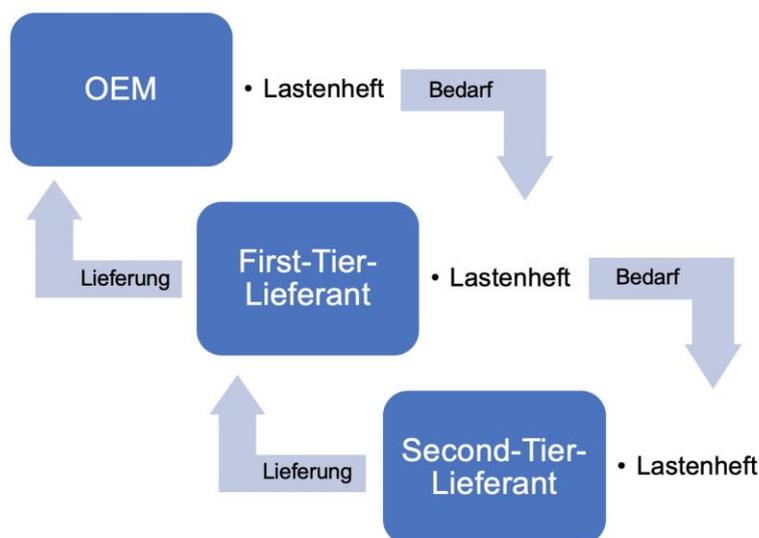


Abbildung 3-2: schematischer Ablauf eines Liefernetzwerkes

Außerdem ergibt sich aus den Beziehungen folgende OEM-Zuliefererpyramide (Abbildung 3-3).

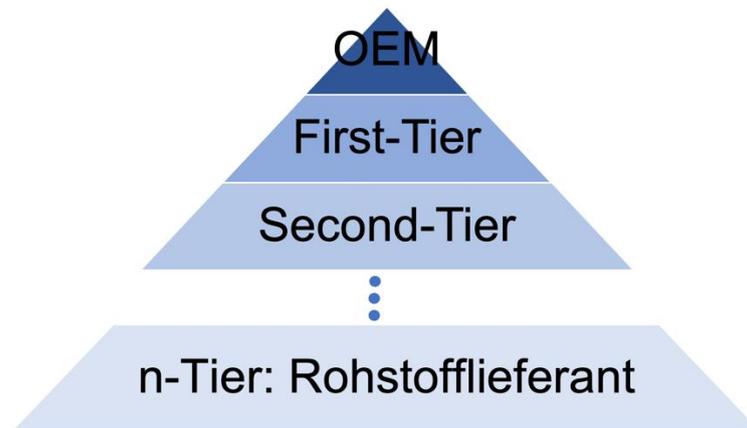


Abbildung 3-3: OEM-Zuliefererpyramide

3.2 Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den Zulieferern

Zum besseren Verständnis der Aufgabenverteilung zwischen den Automobilherstellern und den Zulieferern werden zunächst die Begriffe System, Modul und Komponente anhand eines Beispiels voneinander abgegrenzt. Ein typisches Beispiel für ein Modul in der Automobilindustrie ist das Cockpit. Dieses besteht wiederum aus Komponenten, u.a. aus einem Lenkrad, einem Display, einer Instrumententafel, usw. Darüber hinaus gehört das Cockpit zu einem System, nämlich dem Fahrzeug.

Bevor sich die Modularisierung in der Automobilbranche stark verbreitet hat, haben die OEMs eine unterschiedliche Strategie bei der Entwicklung und Produktion von Fahrzeugen verfolgt. Diese haben nämlich für das gesamte Fahrzeug die Phasen der Forschung und Entwicklung, Beschaffung und Produktion übernommen und haben in der Beschaffung unterschiedliche 1st-Tier-Lieferanten mit der Lieferung von Komponenten beauftragt, wie z.B. dem Lenkrad, dem Display oder der Instrumententafel.³² Wie diese genau gebaut werden mussten, damit die Schnittstellen zu den anderen Komponenten übereinstimmten und damit die gelieferten Teile den Vorstellungen des OEMs entsprachen, wurde von den OEMs durch eine Anforderungsliste vorgeschrieben. Nachdem die einzelnen Komponenten geliefert wurden, wurden diese von den OEMs zusammengesetzt. Dadurch, dass die Automobilhersteller den First-Tier-Lieferanten einzelne Komponenten zuteilten, musste eine hohe Anzahl an First-Tier-Lieferanten beauftragt werden.

Diese Strategie hat sich aber durch die Modularisierung stark verändert. Denn nun konzentrieren sich die OEMs auf ihre Kernkompetenzen, die dazu beitragen, dass sich die Fahrzeuge einer Marke von den restlichen Marken unterscheiden. Dazu gehören die Entwicklung und Konzeption bestimmter markenprägender Module und das Design, die Lackierung, Endmontage und Vermarktung vom Gesamtfahrzeug.³³ Welche Module markenprägend sind, ist vom Automobilhersteller abhängig.

³² Gehr, F.; Hellingrath, B. Hrsg: Logistik in der Automobilindustrie (2007), S. 13.

³³ Ostertag, R.: Supply-Chain-Koordination in der Automobilindustrie (2008), S. 46.

Beispiele für Module, die für die OEMs oft markenprägend sind, sind Motoren und Karosserien. Nicht-Kernkompetenzen werden auf die First-Tier-Lieferanten übertragen. Dementsprechend werden die First-Tier-Lieferanten nicht mehr mit der Lieferung einzelner Komponenten beauftragt, sondern mit der Lieferung von fertig montierten Modulen. Sie werden also zu System- oder Modullieferanten.

Abbildung 3-4 zeigt eine beispielhafte Aufteilung eines Fahrzeugs und wie die Aufgaben zwischen den OEMs und den Lieferanten verteilt werden. Während der OEM für solche Module wie den Motor und die Karosserie zuständig ist, werden die Module Fahrwerk, Cockpit, Dach, Sitz und Elektrik/Elektronik an First-Tier-Lieferanten ausgelagert.

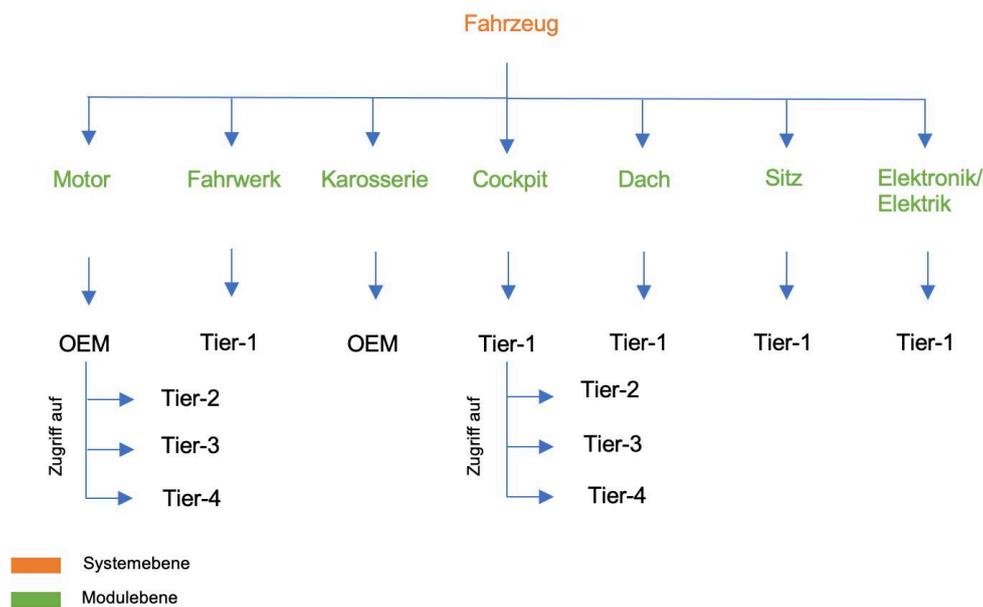


Abbildung 3-4: Aufteilung des Fahrzeugs in Module und Aufgabenverteilung³⁴

Für die zugewiesenen Module müssen die Lieferanten Aufgaben in den Bereichen der Forschung und Entwicklung, Beschaffung, Produktion und Montage übernehmen, die früher vollständig von den OEMs durchgeführt wurden. Zu der FuE der Module gehört die Erarbeitung einer Modulstrategie anhand der von den OEMs gestellten Anforderungen, die Entwicklung der Module, die Aufteilung der Module in Komponenten und die Entwicklung der letzteren. Zuletzt müssen die First-Tier-Lieferanten die Module testen bevor sie an die Automobilhersteller geliefert werden, um sicherzustellen, dass die gelieferten Module die Anforderungen erfüllen. Abbildung 3-5 stellt die beschriebene Aufgabenverteilung in Form eines abgewandelten V-Modells nach ISO 2206 dar.

³⁴ Schonert, T.: Interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke der deutschen Automobilindustrie (2008), S. 201.

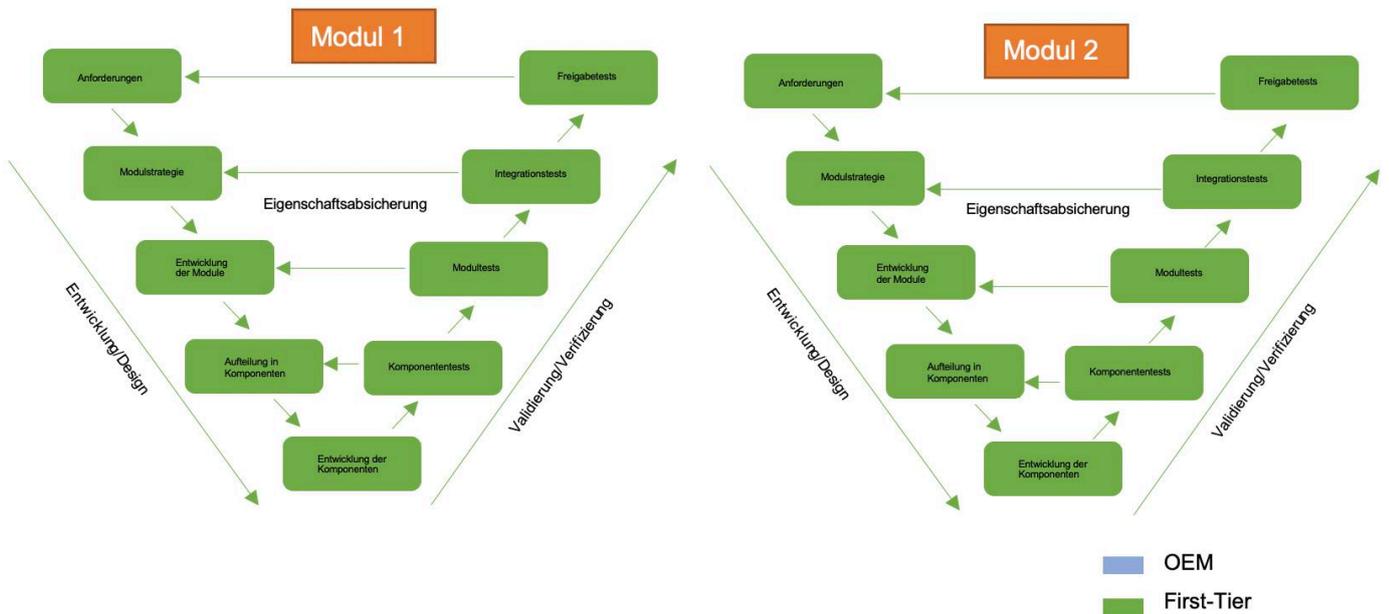
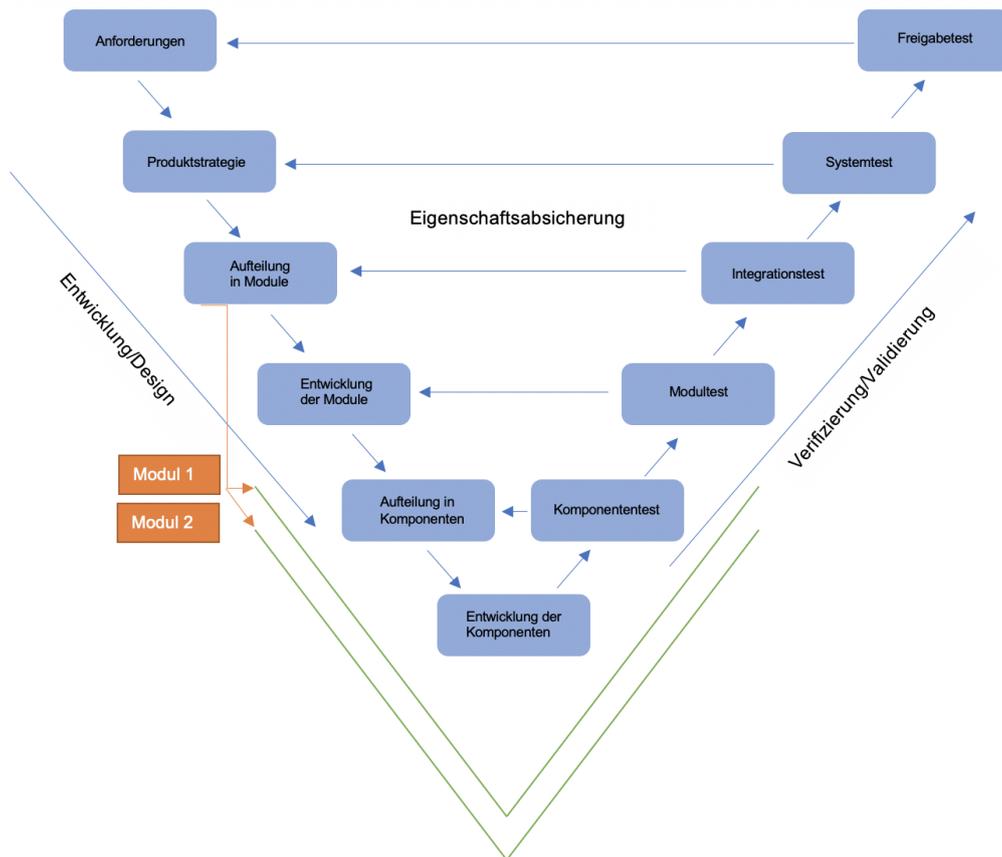


Abbildung 3-5: Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den First-Tier-Lieferanten

Durch diese neue Verteilung entstehen neue Aufgaben mit denen die Automobilhersteller und die Zulieferer konfrontiert werden. Die OEMs müssen sich nun genau überlegen, welche ihre Kernkompetenzen sind und welche Module sie an die Modullieferanten übertragen. Bei der Entscheidung müssen zwei Kriterien beachtet werden. Als erstes muss der Komplexitätsgrad der Leistung ermittelt werden. Als zweites wird bewertet, ob die Leistung markenprägend ist oder nicht. Tabelle 3-1 gibt eine Übersicht über die Möglichkeiten, die ein OEM hat, um über eine Eigenleistung oder einen Fremdbezug zu entscheiden. Eine einfache und markenprägnante Leistung ist in der Automobilindustrie nicht praxisrelevant. Ist aber eine Aufgabe einfach und nicht wichtig für die Marke, dann wird diese vom OEM spezifiziert und von einem Third- oder Fourth-Tier-Lieferanten produziert. Anders sieht es bei komplexen Leistungsumfängen, die eine aufwendigere Forschung und Entwicklung erfordern. Bei einer komplexen und markenprägnanten Leistung ist der OEM in jedem Fall beteiligt. Die FuE wird entweder vom Automobilhersteller oder von einer Kollaboration des OEMs und des Lieferanten durchgeführt. Die Produktion erfolgt dann beim OEM oder beim Lieferanten. Komplexe aber nicht markenprägnante Aufgaben werden sowohl in der FuE als auch in der Produktion zunehmend von First-Tier-Lieferanten übernommen, da diese keine Bedeutung für den Automobilhersteller haben.³⁵ Nachdem die Entscheidung der Eigenleistung oder des Fremdbezug gefallen ist, entstehen keine neuen Aufgaben für die OEMs, da die Aufgaben, die für die markenprägende Module durchgeführt werden müssen (FuE, Beschaffung und Produktion), die gleichen sind wie die, die zuvor für die gesamten Fahrzeuge erbracht wurden.

Tabelle 3-1: Eigenleistung oder Fremdbezug in der Modularisierung (in Anlehnung an Schonert, T. Hrsg: interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke in der deutschen Automobilindustrie (2008), S. 202)

Komplexitätsgrad	Markenprägnant?	Wertschöpfungsstufe	
		FuE	Produktion
Einfach	Ja	Nicht praxisrelevant	Nicht praxisrelevant
	Nein	Kaum Entwicklungsleistung, i.d.R. vom OEM spezifiziert	Zulieferer (Third/Fourth-Tier-Lieferant)
Komplex	Ja	OEM oder OEM in Kooperation mit First/Second-Tier-Lieferant	OEM oder First/Second-Tier-Lieferant
	Nein	Zunehmend durch First-Tier-Lieferant	Weitgehend durch First-Tier-Lieferant

³⁵ Schonert, T.: Interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke der deutschen Automobilindustrie (2008), S. 202.

Lieferanten sind im Vergleich zu den OEMs stärker von den Änderungen durch die Modularisierung betroffen. Diese sind nämlich mit für sie neuen Leistungen konfrontiert, die sie früher nicht erbringen mussten, nämlich mit der FuE, Beschaffung und Produktion kompletter Module. In Kapitel 2.1 wurde erklärt, dass der Prozess zur Gestaltung einer modularen Architektur in zwei Schritten aufgeteilt ist: die Aufteilung des Systems in funktional und physisch relativ unabhängige Subsysteme und die Definition der Schnittstellen. Diese Schritte müssen zwar auch unter Berücksichtigung technischer Aspekte erfolgen, jedoch ist es viel wichtiger, dass sie aus strategischer Perspektive durchgeführt werden. Grund dafür ist, dass genau überlegt werden muss, welche Komponenten eines Fahrzeugs über die Zeit nicht weiterentwickelt werden müssen und somit über mehrere Produktgenerationen eingesetzt werden können. Des Weiteren wird bei der Festlegung der Schnittstellen das Ausmaß bestimmt, in dem Produktaktualisierungen in die Architektur eingeführt werden können. Dementsprechend sind bei der Entwicklung einer modularen Architektur insbesondere strategische Kompetenzen gefragt.³⁶ Eine weitere Fähigkeit, die die Lieferanten besitzen müssen, ist die Systemintegrationskompetenz, d.h. die Fähigkeit der engen Abstimmung mit den OEMs und ihren Vorlieferanten sowie der optimalen Gestaltung von Wertschöpfungsaktivitäten in der Entwicklung, Produktion und Logistik, da die Module an die OEMs montiert geliefert werden müssen.^{37a}

Die vermehrte Übernahme der Entwicklung der Module durch die Lieferanten führt dazu, dass der Wertschöpfungsanteil der Lieferanten zunimmt.^{37b} Dies wird in Abbildung 3-6, die einen Vergleich der Wertschöpfungsanteile der Lieferanten zwischen den Jahren 2002 und 2015 zeigt, mit genauen Zahlen belegt.

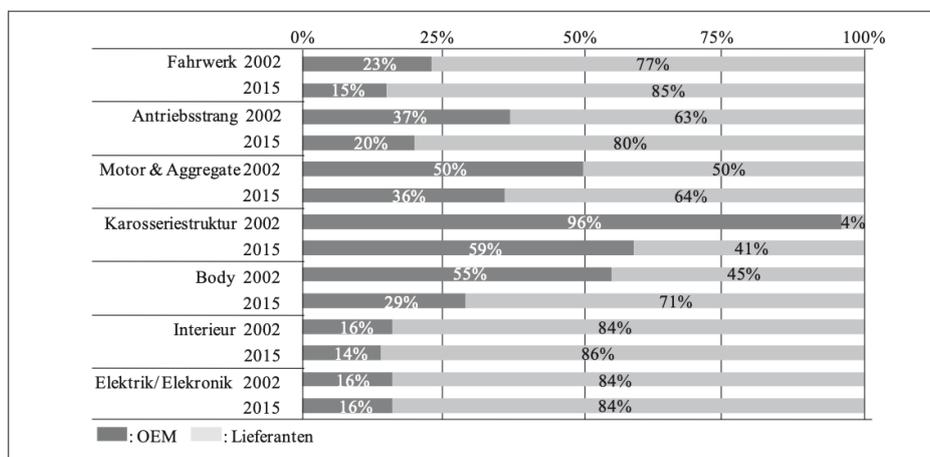


Abbildung 3-6: Änderung der Wertschöpfungsanteile zwischen den OEMs und den Lieferanten ^{37b}

Darüber hinaus bewirkt die neue Aufgabenverteilung eine Verschiebung der Aufgaben um eine Ebene nach unten in der Zuliefererpyramide. First-Tier-Lieferanten, die vor der Modularisierung einzelne Komponenten geliefert haben, werden, wie bereits erklärt, zu System- oder Modullieferanten. Da die Modullieferanten nun die einzelnen Komponenten benötigen, um die Module zu produzieren, werden die Second-Tier-Lieferanten zu Komponentenzulieferern. Diese Kette setzt sich fort bis die

³⁶ Sanchez, R.: Building Real Modularity Competence (2013), S. 215f.

³⁷ Dölle, J.E.: Lieferantenmanagement in der Automobilindustrie (2013), a: S. 86, b: S. 24.

Rohstofflieferanten erreicht werden. Weiterhin entsteht in der Zuliefererpyramide eine direkte Verbindung zwischen den Automobilherstellern und den Second- und Third-Tier-Lieferanten, die davor nicht vorhanden waren. Dies liegt darin begründet, dass der OEM selber markenprägende Module produziert und dadurch auch einzelne Komponenten, Normteile, Halbfabrikate und Rohstoffe aus Lieferanten beziehen muss, die in der Pyramide in den unteren Ebenen positioniert sind. Folglich ändert sich die OEM-Zuliefererpyramide aus Abbildung 3-3 zu der in Abbildung 3-7 dargestellten Pyramide.

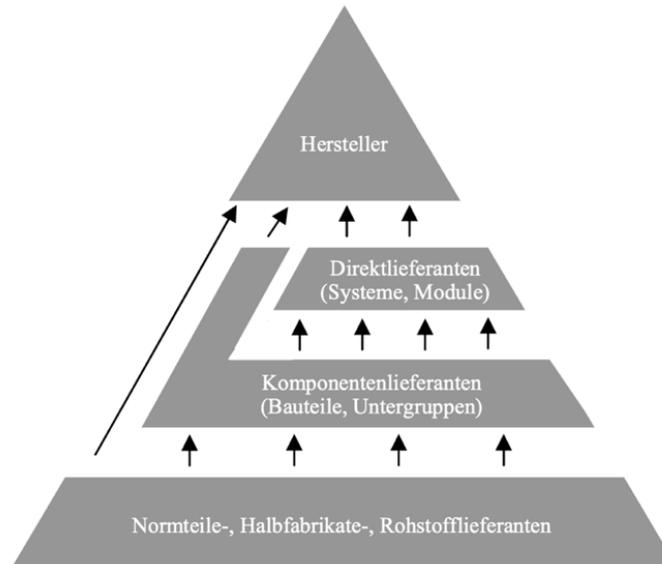


Abbildung 3-7: OEM-Zuliefererpyramide in der modularen Beschaffung³⁸

Ein weiterer großer Unterschied, der zugleich ein wesentlicher Vorteil für den Automobilhersteller darstellt, ist die Reduktion der First-Tier-Lieferanten. Denn statt durch viele Komponentenlieferanten wird der OEM nur noch durch wenige Modullieferanten beliefert. Die „Smart car“ Kollaboration zwischen Mercedes-Benz und Swatch konnte beispielsweise die Anzahl der Lieferanten von 200-300 auf 25 Modullieferanten reduzieren.³⁹ Folglich wird das Lieferantennetzwerk deutlich anschaulicher, sodass die Koordination der Lieferanten erheblich vereinfacht wird.

Außer der Änderung der Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den Lieferanten und die Verschiebung der Zuliefererpyramide bringt die Modularisierung weiterhin eine engere Zusammenarbeit zwischen den OEMs und den Zulieferern mit sich, insbesondere in den Phasen der FuE und der Produktion. Mit der Auslagerung der Module von den Automobilherstellern auf die First-Tier-Lieferanten, übernehmen die letzteren zunehmend Verantwortung über die Gestaltung der Module. Eine intensive Kooperation ist deswegen wichtig, weil die Integrität des Moduls in das Gesamtprodukt gewährleistet werden muss. Einerseits zeigen Howard und Squire^{40a}, dass die Modularisierung einen positiven Einfluss auf die Kooperation zwischen OEMs und Lieferanten hat. Sie ermöglicht nämlich

³⁸ Ostertag, R.: Supply-Chain-Koordination in der Automobilindustrie (2008), S. 47.

³⁹ Doran, D.: Supplying on a Modular Basis (2005), S. 655.

⁴⁰ Howard, M.; Squire, B.: Modularization and the Supply Relationships (2007), a: -, b: S. 1196, c: S. 1198.

aufgrund der Verbindung des Know-hows der unterschiedlichen Parteien überlegene Produkte. Auch das spezialisierte Wissen im Bereich des jeweiligen Moduls und die größere Menge an benutzten Ressourcen (z.B. Arbeitskräfte) eines Lieferanten für die Entwicklung der Module trägt zu einer Verbesserung der Qualität der Module bei. Weiterhin werden Kosteneinsparungen in der Produktion erreicht, auf die im weiteren Verlauf eingegangen wird. Diese positiven Auswirkungen erhöhen zudem die Motivation der Lieferanten, die neuen notwendigen Fähigkeiten zu erwerben. Andererseits entsteht bei Kooperationen die Gefahr des opportunistischen Verhaltens. In der Modularisierung kann dieses Verhalten bei der Erstellung von neuen Verträgen vorkommen.^{40b} Dies stellt ein Problem dar, da die OEMs in einer modularen Umwelt stärker von den Lieferanten abhängen. Wenn sich also ein Lieferant bei der Erneuerung des Vertrags opportunistisch verhält, indem er beispielsweise die Preise erhöht, muss der OEM entscheiden, ob er sich einen neuen Lieferanten aussucht. Dies kann u.U. aufwendig sein, da der neue Zulieferer die nötigen Fähigkeiten für eine modulare Entwicklung und Produktion besitzen muss. Des Weiteren erfordert die Modularisierung in der Phase der Forschung und Entwicklung ein hoher Informationsaustausch zwischen den OEMs und den Zulieferern, um spätere Schnittstellenprobleme zu vermeiden.^{40c}

Das spezialisierte Wissen und die größere Menge der eingesetzten Ressourcen der Lieferanten ermöglichen neben der besseren Qualität der Produkte ebenfalls eine Verkürzung der Entwicklungszeiten. Diese verkürzten Entwicklungszeiten werden zudem durch den wiederholten Einsatz von Modulen verstärkt. Bei einer Produktaktualisierung müssen nämlich nur die Module geändert werden, die eine Änderung benötigen. Vorteile kurzer Entwicklungszeiten zeigen sich in einer schnelleren Vermarktung der Fahrzeuge. Außerdem entsteht die Möglichkeit, auf Nachfrageänderungen am Markt schneller zu reagieren. Weiterhin führt eine schnellere Durchführung der Entwicklungsarbeiten zu einer geringeren Kapitalbindung und damit zu einer früheren Ressourcenfreisetzung.⁴¹

In der Phase der Produktion wird die Kooperation mit dem Ziel einer effizienten Abwicklung der Prozesse eingesetzt. Aufgrund der Modulstrategie, d.h. dem Prinzip ein Modul über mehrere Karosserieformen und teilweise über mehrere Baureihen einzusetzen, können hier vor allem Kostenvorteile durch die Nutzung von Skaleneffekten erreicht werden. In dieser Phase werden ebenfalls die einzelnen Teile zusammengefügt und als Module an den OEM weitergeleitet. Aus der Perspektive des OEMs entsteht aus der Auslagerung der Module an die Lieferanten eine schnellere Montage (und damit auch wieder eine schnellere Vermarktung), da fertig montierte Module von den Lieferanten geliefert werden. Durch die enge Zusammenarbeit während der Produktion zielen die OEMs des Weiteren auf eine optimale Verteilung der Produktions- und Fertigungsstätten. Dabei sollen die Lieferanten in nächster Nähe angesiedelt werden, damit günstigere Logistikkosten und eine optimale Abstimmung der Fertigungsprozesse erreicht werden. Die enge Kooperation in der Produktion dient vor allem der Reduzierung des Qualitätskontrollaufwands der OEMs. Dadurch übernehmen die Lieferanten eine höhere Verantwortung für die Qualitätssicherung.⁴²

⁴¹ Schonert, T.: Interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke der deutschen Automobilindustrie (2008), S. 204.

⁴² Dölle, J.E.: Lieferantenmanagement in der Automobilindustrie (2013), S. 86.

3.3 Zusammenfassung

Die Ziele dieses Kapitels waren die Änderungen der Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den Lieferanten und dessen Auswirkungen auf die Entwicklung und Vermarktung der Module bzw. Fahrzeuge zu analysieren. Die beschriebenen Informationen werden in Tabelle 3-2 und Abbildung 3-8 zusammengefasst.

Tabelle 3-2: Änderungen der Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den Lieferanten durch die Modularisierung

	Vor der Modularisierung	In der Modularisierung
Aufgaben des OEMs	<ul style="list-style-type: none"> • Erarbeitung der Anforderungen und Produktstrategie des Gesamtfahrzeugs • FuE, Beschaffung, Produktion des gesamten Fahrzeugs 	<ul style="list-style-type: none"> • Erarbeitung der Anforderungen und Produktstrategie des Gesamtfahrzeugs • Aufteilung des gesamten Fahrzeugs in Module • Festlegen von Kernkompetenzen und auszulagernden Modulen • FuE, Beschaffung, Produktion markenprägender Module
Aufgaben der Lieferanten	<ul style="list-style-type: none"> • Produktion und Lieferung von Komponenten (Lenkrad, Display, Instrumententafel) 	<ul style="list-style-type: none"> • Erarbeitung einer Modulstrategie anhand der vom OEM gestellten Anforderungen • FuE, Beschaffung, Produktion und Montage der Module
Anzahl der Lieferanten	<ul style="list-style-type: none"> • hoch 	<ul style="list-style-type: none"> • gering
Anforderungen an Lieferanten	<ul style="list-style-type: none"> • technische Kompetenzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kompetenzen in Strategie und Systemintegration
Ausmaß an Kollaboration zwischen OEM und Lieferanten	<ul style="list-style-type: none"> • gering 	<ul style="list-style-type: none"> • hoch

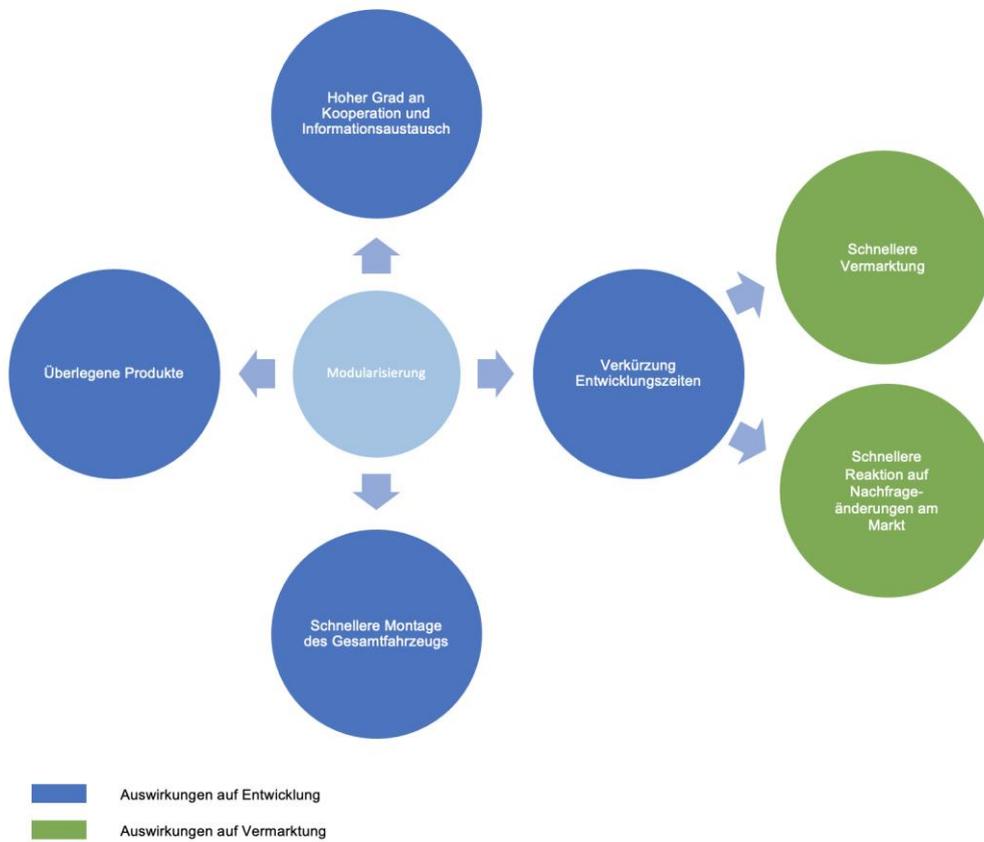


Abbildung 3-8: Auswirkungen der Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und Lieferanten auf die Entwicklung und Vermarktung der Module bzw. Fahrzeuge

4 Grenzen der Modularisierung

Nachdem in Kapiteln 2 und 3 auf die Grundlagen, Besonderheiten, Einsatzbereiche und die Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den Lieferanten im Detail eingegangen wurde, widmet sich dieses Kapitel nun der Analyse der Grenzen der Modularisierung. Die Betrachtung der Grenzen ist deswegen wichtig, weil damit die Schwachstellen der Modularisierung identifiziert werden können, die anschließend durch Verbesserungen behoben oder minimiert werden können. Insgesamt werden 3 Grenzen bzw. Schwierigkeiten detailliert beschrieben: die Folgen eines defekten Moduls, die Schwierigkeiten bei der Einführung einer Modularisierung in einem Unternehmen und die Schwierigkeiten bei der Weitergabe von Einflussgrößen beim Testen.

4.1 Die Folgen eines defekten Moduls

Wie bereits erklärt ist die Haupteigenschaft der Modularisierung die Wiederverwendbarkeit. Obwohl diese Besonderheit zahlreiche Vorteile, wie z.B. Kosteneinsparungen und kürzere Entwicklungszeiten, mit sich bringt, kann sich auch der Einsatz eines Moduls in mehreren Karosserieformen und teilweise in mehreren Baureihen als unvorteilhaft erweisen. Denn vor allem, wenn das Modul einen Fehler aufweist, der beim Testen nicht festgestellt wurde, dann kann dies zu erheblichen negativen Auswirkungen führen, die nun detailliert erklärt werden.

Bevor die Fahrzeuge in den Markt eingeführt werden, sollten diese getestet werden (s. Abbildung 3-5). Werden beim Testen keine Fehler festgestellt, so ist der Weg für die Markteinführung frei. An der Stelle enden aber die Verpflichtungen des Automobilherstellers nicht. Denn auch nach einer erfolgreichen Markteinführung, ist der OEM dazu verpflichtet, die Funktionsweise der Fahrzeuge zu beobachten, um mögliche unbekannte Gefahren zu erkennen und dementsprechend nachträglich geeignete Sicherheitsmaßnahmen zu treffen.^{43a} Dies ist auch erforderlich, wenn alle rechtlichen Anforderungen, Richtlinien und Qualitätsprozesse für einen sicheren Gebrauch und für mögliche Fehlfunktionen eingehalten wurden. Diese Beobachtungspflicht ergibt sich aus der Verkehrssicherungspflicht.^{43b} Der OEM kann für einen Fehler während der Nutzungsphase aufgrund der vertraglich geregelten Sachmängelhaftung⁴⁴ nach §633 Abs. 2 BGB oder aufgrund der gesetzlich geregelten Haftung nach §823 Abs. 1 BGB (verschuldensabhängig) oder nach §1 ProdHaftG (verschuldensunabhängig) haften. Infolgedessen muss er Schadensersatz leisten. Haftpflichtig ist primär der Automobilhersteller aber auch Zulieferer, Importeure, Vertriebshändler oder Verkäufer können in begründeten Fällen unbegrenzt haftbar gemacht werden.^{43c} Neben den rechtlichen Auswirkungen kann ein Fehler ebenfalls negative wirtschaftliche Auswirkungen zur Folge haben. Ein Fehler eines Moduls, der überall vorkommt, wo das Modul eingesetzt wurde, erweckt aufgrund der Häufigkeit des Vorkommens eine große Aufmerksamkeit in den Medien. Folglich müssen die Automobilhersteller mit

⁴³ Maurer, M. et al. Hrsg: Autonomes Fahren (2015), a: S. 629, b: S. 622, c: S. 618.

⁴⁴ Ein Sachmangel liegt vor, wenn das Fahrzeug nicht die vertraglich vereinbarte Beschaffenheit aufweist (§633 Abs. 2 BGB), zum Beispiel, wenn der montierte Auspuff beginnt, auf dem Boden zu schleifen oder wenn das Fahrzeug in der falschen Farbe geliefert wird.

großen Umsatz- und Gewinneinbußen, Vertrauensverlust, Imageschäden und dementsprechend auch mit Verlust an Marktanteilen rechnen. Weiterhin müssen die OEMs mit entsprechenden Maßnahmen reagieren, d.h. mit Rückrufaktionen.^{43c} Abbildung 4-1 fasst die Auswirkungen eines Fehlers in Fahrzeugen zusammen.

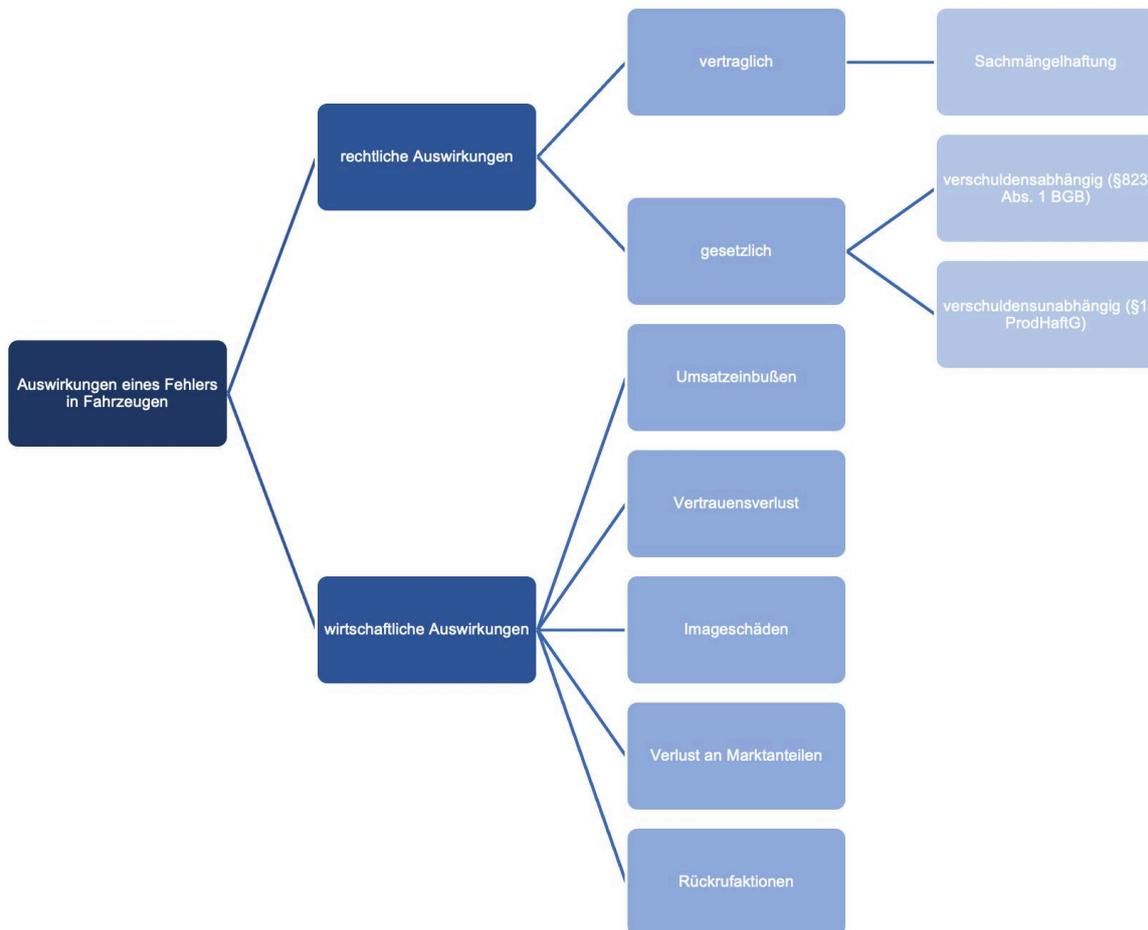


Abbildung 4-1: Auswirkungen eines Fehlers in Fahrzeugen
(in Anlehnung an Maurer, M. et al. Hrsg: Autonomes Fahren (2015), S. 619)

Rückrufaktionen sind aktive Maßnahmen von Unternehmen zur Verhinderung von Personen- oder Sachschäden durch fehlerhafte Produkte.⁴⁵ Dabei werden die Fahrzeugbesitzer, die von dem Fehler betroffen sind, benachrichtigt. Die Durchführung solcher Rückrufaktionen ist oft eine große logistische Herausforderung und vor allem auch eine wirtschaftliche Herausforderung für den Automobilhersteller, insbesondere bei großen Rückrufaktionen.⁴⁶ Ein weiteres Problem, das bei Fehlern in der Nutzungsphase auftreten kann, ist die Zuordnung der Verantwortlichkeit für den Fehler. Denn, obwohl das Fahrzeug vom Automobilhersteller verkauft wird, werden viele Module von unterschiedlichen Lieferanten produziert (s. Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den Zulieferern). Da die Module verschiedener Lieferanten im Gesamtfahrzeug untereinander in Verbindung kommen,

⁴⁵ Wallentowitz, H. et al.: Grundlagen der Automobilindustrie (2009), S. 8.

⁴⁶ Kraftfahrtbundesamt: Rückrufe.

stellt sich beim Auftreten eines Fehlers in der Nutzungsphase die Frage, wer die Verantwortung für den Fehler trägt. Der Fehler könnte nämlich auch durch die Schnittstellen mit den anderen Modulen auftreten. Um eine genauere Vorstellung über den Umfang solcher Fehler während der Nutzungsphase zu bekommen, folgt nun ein Beispiel für fehlerhafte Zulieferteile. Im Jahr 2000 galt der Ford Explorer als weltweit meistverkauftes SUV. Jedoch musste daraufhin die US National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) die Konzerne Ford und Firestone aufgrund eines häufig auftretenden Reifenschadens durch Ablösung von Laufflächen kontaktieren. Nach dem Reifenschaden kam es bei höheren Geschwindigkeiten zu Schleuderunfällen mit Überschlägen und zu Todesfällen. In den USA verursachte der Schaden in den Firestone-Reifen 200 tödlich verletzte Personen und mehr als 60 Tote in Venezuela. Von dem Schaden war nicht nur das Modell Ford-Explorer betroffen, sondern auch die Modelle Mercury Mountaineer und Mazda Navajo. Neben den Schadensersatz- und Strafzahlungen in Höhe von 369 Millionen Dollar, zahlten Ford und Firestone im gerichtlichen Prozess insgesamt 7,85 Millionen Dollar. Auch die Rückrufe endeten in einer teuren Aktion aufgrund der mehreren Millionen defekten Reifen.⁴⁷ In solchen Fällen ist es für die Zulieferer sinnvoll Versicherungsprämien im Produktpreis (im Beispiel also im Preis der Reifen) unterzubringen. Jedoch ist eine solche Versicherungsprämie in den meisten Fällen für die Zulieferer nicht möglich, wenn sie konkurrenzfähige Produktpreise anbieten wollen.⁴⁸ Darüber hinaus wurden Fehler in der Krisenkommunikation begangen, da die Manager der Unternehmen Ford und Firestone sich gegenseitig öffentlich die Schuld zuschoben. Dies führte zum Ende der freundschaftlichen Geschäftsbeziehung der beiden Unternehmen und zu Imageschäden mit Umsatzeinbrüchen für beide Parteien.⁴⁷ Dieses Beispiel zeigt somit, dass die Wiederverwendung eines Moduls in mehreren Karosserieformen und teilweise Bauweisen auch mit einem gewissen Risiko verbunden ist. Insbesondere bei der ersten Einführung neuer Technologien in Fahrzeugen stellt dies ein erhöhtes Risiko dar, da die Erfahrung in der neuen Technologie dementsprechend gering ist. Wird das Modul mit der neuen Technologie direkt in mehreren Karosserieformen eingesetzt, die zeitgleich in den Markt eingeführt werden, dann könnte das beschriebene Problem auftreten.

4.2 Schwierigkeiten in Unternehmen bei der Einführung einer Modularisierung

Beim Wechsel einer Unternehmensstrategie über zur Modularisierungsstrategie müssen zahlreiche Faktoren beachtet werden, von denen Unternehmen oft nicht bewusst sind. Dies führt dazu, dass diese Unternehmen an der Modularisierung scheitern und somit nicht von den Vorteilen profitieren können. Für den Misserfolg gibt es unterschiedliche Gründe, die im Folgenden erläutert werden.

Einer der Hauptgründe ist, dass Unternehmen sich nicht genug damit auseinandersetzen, was Modularität bedeutet und wie sie strategisch benutzt werden kann. Denn in der Modularisierung ist es sehr wichtig, dass die Prinzipien der Unabhängigkeit und der Integrität sowie die Erstarrung der Schnittstellen eingehalten werden. Hinzu kommen die notwendigen strategischen Fähigkeiten, um die Produkte strategisch in Module aufzuteilen und die Schnittstellen zu definieren. Schließlich muss

⁴⁷ Maurer, M. et al. Hrsg: Autonomes Fahren (2015), 619f.

⁴⁸ Stockmar, J.: Erfolgsfaktoren für Automobilzulieferer (2014), S. 232.

einerseits gewährleistet werden, dass Produktaktualisierungen möglich sind. Andererseits muss bei anderen Modulen sichergestellt werden, dass keine Produktentwicklungen nötig sind, um diese über mehrere Produktgenerationen einsetzen zu können. Daher müssen die entsprechenden Manager und Ingenieure ebenfalls ausgeprägte analytische Fähigkeiten besitzen, um vorhersagen zu können, wie sich die unterschiedlichen Module langfristig entwickeln werden. Wird die strategische Perspektive bei der Aufteilung der Architektur nicht beachtet, dann kann der strategische Nutzen der Modularisierung nicht gezogen werden. Um dieses Argument zu verdeutlichen, vergleicht Sanchez^{49a} zwei Fälle: einen erfolgreichen Fall der Modularisierung und einen erfolglosen Fall. Das erfolgreiche Unternehmen investierte insgesamt 3 Monate, um die strategische Aufteilung des Produktes in Module und vor allem die Wichtigkeit der strategischen Definition der Schnittstellen zu verstehen. Diese sorgfältige Vorbereitung hat sich dementsprechend u.a. in einer Kostenreduktion in Höhe von 52% gezeigt. Dagegen behauptete das erfolglose Unternehmen, er würde den modularen Ansatz anwenden, obwohl die Schnittstellen dauerhaft geändert wurden, sogar nach der Produktion, damit neue Produktvarianten erstellt werden konnten. Infolgedessen konnte nur sehr wenig Nutzen aus der Modularisierung gezogen werden.^{49b}

Ein weiterer Fehler, aufgrund dessen Unternehmen scheitern, ist die nicht angemessene Anpassung der Organisationsstruktur an einen modularen Entwicklungsprozess. Die Modularisierung bringt wichtige Veränderungen in der Verteilung der Verantwortlichkeiten und Autorität des Entwicklungspersonals mit sich. Demzufolge findet eine Verschiebung der Machtstrukturen und Beziehungen in einer Organisation statt. Dies kann dazu führen, dass einige Mitarbeiter Macht verlieren oder der Wert ihrer Tätigkeit sinkt. Aus diesem Grund weigern sich die Mitarbeiter, die Veränderungen anzunehmen. Ein weiteres Beispiel zeigt dieses Problem auf. Bei einem Automobilhersteller sollten die mechanischen und elektromechanischen Technologien zu mikroprozessorbasierten digitalen Technologien geändert werden. Die mechanischen Subsysteme konnten vor der Änderung als „Insel der Technologie“ betrachtet werden. Dennoch mussten diese mechanischen Subsysteme durch den Wechsel in die neue elektronische Architektur mit den restlichen Subsystemen des Fahrzeugs koordiniert werden. Dies bedeutete, dass die in die Mechanik spezialisierten Gruppen nun mit den in die Elektronik spezialisierten Gruppen zusammenarbeiten mussten. Diese Änderung wollten sie aber nicht akzeptieren, weil sie dadurch ihre Autorität verlieren würden. Infolgedessen bestand eine Diskrepanz zwischen dem konventionellen Entwicklungsprozess, den das Unternehmen weiterhin verwendete, und der neuen Koordinationsfunktion für die Elektronikarchitektur, die das Unternehmen nun benötigte, um die zuverlässige Funktion seiner Fahrzeuge zu gewährleisten. Daraus ergaben sich katastrophale technische Ausfälle der Elektronik in der neuen Generation von Modellen, die nicht zuverlässig zusammenarbeiteten.^{49c}

⁴⁹ Sanchez, R.: Building Real Modularity Competence (2013), a: -, b: S. 220f, c: S. 222f.

4.3 Schwierigkeiten bei der Weitergabe von Einflussgrößen beim Testen

Zuletzt wird nun eine Grenze im Bereich des Testens betrachtet. Dafür ist es aber zunächst wichtig, die Grundlagen der Testdurchführung zu erklären.

Tests werden zum Auffinden möglichst vieler Fehler verwendet. Dabei wird ein Fehler als die Abweichung der tatsächlichen Ausprägung (Ist-Wert) eines Merkmals von der vorhergesehenen Soll-Ausprägung (Soll-Wert) definiert. Nach dem Vergleich des Ist- und des Soll-Wertes wird anschließend der Test mit „bestanden“ oder „nicht bestanden“ bewertet. Der Ablauf von Tests ist in drei Phasen unterteilt: die Testvorbereitung, die Testdurchführung und die Testauswertung.⁵⁰

Als Grundlage für die Testvorbereitung dient das Lastenheft. Dieses beinhaltet die gewünschten Eigenschaften, d.h. die an das Produkt gestellten Anforderungen. Dazu gehören technische Anforderungen, Kundenakzeptanz, Kosten oder gesetzliche Rahmenbedingungen. Als nächstes werden die Testziele, also was getestet werden soll und nach welcher Art von Fehlern gesucht werden soll, sowie das Testverfahren festgelegt. Dafür muss dementsprechend auch die notwendige Testausrüstung beschaffen werden. Zusätzlich müssen die potenziell relevanten Einflussgrößen des Prüflings identifiziert werden, die hinsichtlich ihrer Abhängigkeiten (z.B. woher die Einflussgrößen stammen), der Testrelevanz und den Wertebereichen analysiert werden müssen.⁵¹ Weiterhin muss eine Testreferenz abgeleitet werden, die die gewünschten Soll-Werte erzeugt, damit ein Vergleich mit dem Ist-Wert möglich ist. Zuletzt werden in der Testvorbereitung die einzelnen Testfälle, d.h. die Test-, Durchführungs- und Auswertungsvorschriften, ermittelt. Auf der Grundlage der beschriebenen Schritte kann die Testdurchführung beginnen, wo der Prüfling mit den ermittelten Einflussgrößen beaufschlagt wird. Im letzten Schritt wird das Verhalten beobachtet und die Ausgabewerte (Ist-Werte) werden gemessen. Die gemessenen Ausgabewerte werden anschließend mit den Soll-Werten verglichen, damit der Test mit „bestanden“ oder „nicht bestanden“ bewertet werden kann. Zum Schluss werden die Ergebnisse in einem Testbericht dokumentiert, sodass die notwendigen Änderungen am Prüfling durchgeführt werden können.⁵⁰ Abbildung 4-2 zeigt den beschriebenen Ablauf bei der Testdurchführung.

⁵⁰ Baumann, G.: Was verstehen wir unter Test? (2006), S. 4f.

⁵¹ Lang, E.: Einflussgrößen für die Absicherung von Modulen automatisierter Fahrzeuge (2020), S. 15.

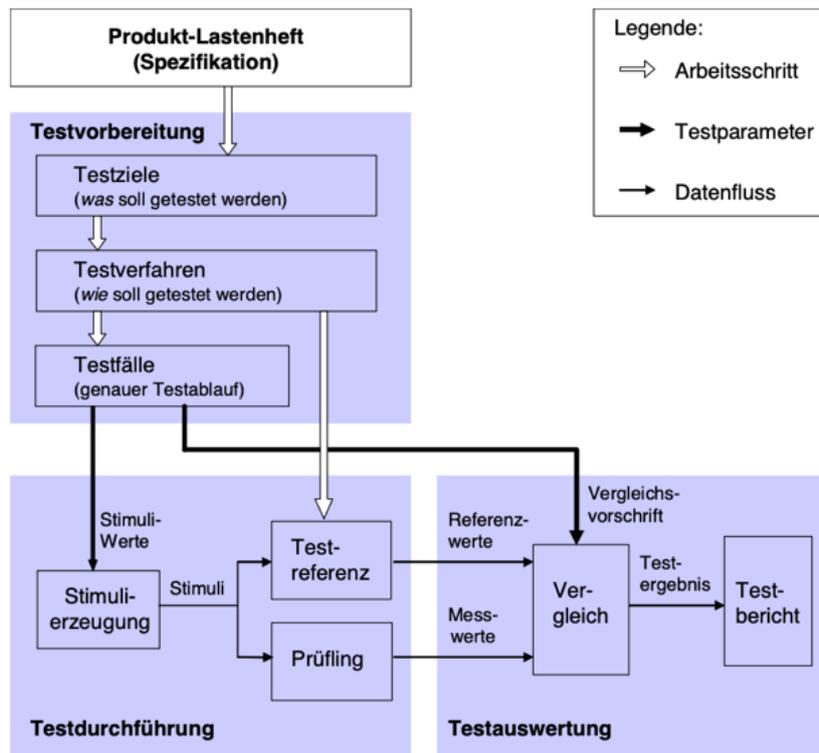


Abbildung 4-2: Testphasen⁵⁰

Die Modularisierung stößt bei der Testdurchführung an ihre Grenzen, wenn die Module an unterschiedliche Zulieferer ausgelagert werden. Das Problem wird anhand der E/E-Architektur des Fahrzeugs im Projekt UNICARagil erklärt. Diese Architektur der 4 Fahrzeuge wurde bereits in Kapitel 2.3 eingeführt (s. Abbildung 2-6). Da aber auf diese nur sehr kurz eingegangen wurde, wird nun die Funktionsweise der Software-Architektur detaillierter erklärt. Die vier Sensormodule nehmen die Umgebung aus eigener Perspektive auf und erstellen damit vier unterschiedliche Umgebungsmodelle, die an das *Großhirn* übermittelt werden. Die Aufgabe des *Großhirns* ist es, die vier Umgebungsmodelle zu einem Umgebungsmodell zusammenzufassen, um eine Trajektorie planen zu können, die an das *Stammhirn* weitergeleitet wird. Damit kann das *Stammhirn* die übermittelte Trajektorie regeln und anschließend umsetzen, indem die notwendigen Stellsignale an die Dynamikmodule übertragen werden. Die Antriebs- und Bremsmomente sowie Lenkwinkel werden durch das Rückenmark an die Dynamikmodule zur Verfügung gestellt.⁵² Eine solche E/E-Architektur wird oft als ein Modul betrachtet (s. Abbildung 3-4) und anschließend an ein First-Tier-Lieferant ausgelagert. Die Grenze bei der Modularisierung tritt nun zu dem Zeitpunkt auf, zu dem der Zulieferer die Wertebereiche für die Einflussgrößen des E/E-Moduls ermitteln will, um dieses testen zu können. Denn, wenn diese Einflussgrößen aus einem anderen Modul stammen, das nicht dem Zulieferer des E/E-Moduls zugeteilt wurde, dann besteht die Möglichkeit, dass die Werte für die Einflussgrößen nicht zur Verfügung gestellt werden. In unserem Fall trifft dies auf das der E/E-Architektur untergeordnete Modul *Stammhirn & Plattformsensorik* zu. Dieses Modul führt unterschiedliche Dienste aus, u.a. die *Fahrdynamik*

⁵² Woopen, T. et al.: UNICARagil - Disruptive Modular Architectures (2018), S. 5.

und Trajektorienregelung.^{53a} Bei der Ermittlung der Einflussgrößen, wurde festgestellt, dass die Einflussgrößen *maximal möglicher Lenkwinkel*, *stellbares Spitzenmoment Antreiben*, *stellbares Dauermoment Antreiben* und *stellbares Spitzenmoment Bremsen* nicht aus dem Modul *Stammhirn & Plattformsensorik* stammen und gleichzeitig eine hohe Testrelevanz haben.^{53b} Die genannten Einflussgrößen stammen aus den Modulen des Fahrwerk (*maximal möglicher Lenkwinkel*, *stellbares Spitzenmoment Bremsen*) und des Motors (*stellbares Spitzenmoment Antreiben*, *stellbares Dauermoment Antreiben*), die von zwei unterschiedlichen Unternehmen entwickelt werden (die Entwicklung des Motors bleibt meistens beim OEM und die Entwicklung des Fahrwerks wird an ein First-Tier-Lieferant ausgelagert). An der Stelle tritt das genannte Problem ein. Nämlich, dass die Werte für die Einflussgrößen des Moduls *Stammhirn & Plattformsensorik* evtl. nicht zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere in der Modularisierung sind jedoch solche Daten entscheidend, da ansonsten die Integrität des Produktes nicht garantiert werden kann. Ein Grund dafür, dass solche Daten nicht zur Verfügung gestellt werden, ist die Vertraulichkeit dieser Informationen. Solche Unternehmensdaten werden von Unternehmen nur offengelegt, wenn ein Vertrauensverhältnis besteht und unter Ausschluss von opportunistischen Verhalten. Vertrauen kann aber nur bei mittel- oder langfristigen Beziehungen aufgebaut werden. Aus diesem Grund reduzieren die OEMs die Anzahl der First-Tier-Lieferanten, um eine intensivere und längere Beziehung zu den Lieferanten zu ermöglichen. Diese Methode hat jedoch den Nachteil, dass die OEMs ihre Marktmacht zur Senkung von Einkaufspreisen nicht ausnutzen können, da sie weniger Lieferanten zur Auswahl haben.⁵⁴ Weiterhin besteht die Gefahr bei der Weitergabe von Informationen, dass eine Verzerrung entsteht. Dies ist der Fall, wenn die Informationen mehrere Unternehmen durchlaufen, zum Beispiel wenn der OEM an ein First-Tier-Lieferant die Informationen weitergibt und der First-Tier-Lieferant an einen zweiten First-Tier-Lieferant. Denn durch die unterschiedliche Ausdrucksweise jedes Menschen, können die Informationen unterschiedlich verstanden werden. Außerdem kann es durchaus sein, dass die Informationen vom ersten First-Tier-Lieferanten falsch verstanden werden und demzufolge falsch an den zweiten Lieferanten übermittelt werden. Und zuletzt kann aus der Sicht des Entwicklungsbereiches des Moduls *Stammhirn & Plattformsensorik* die Schwierigkeit auftreten, wer aus dem Entwicklungsbereich der anderen Lieferanten kontaktiert werden muss. Insbesondere bei großen Lieferantenunternehmen vervielfältigen sich die Kontaktmöglichkeiten.⁵⁵ Abbildung 4-3 stellt die Grenzen bei der Weitergabe von Einflussgrößen und von Informationen bildlich dar.

⁵³ Lang, E.: Einflussgrößen für die Absicherung von Modulen automatisierter Fahrzeuge (2020), a: S. 12, b: S. 78.

⁵⁴ Ostertag, R.: Supply-Chain-Koordination in der Automobilindustrie (2008), S. 30.

⁵⁵ Sydow, J. Hrsg: Management von Netzwerkorganisationen (2010), S. 313.

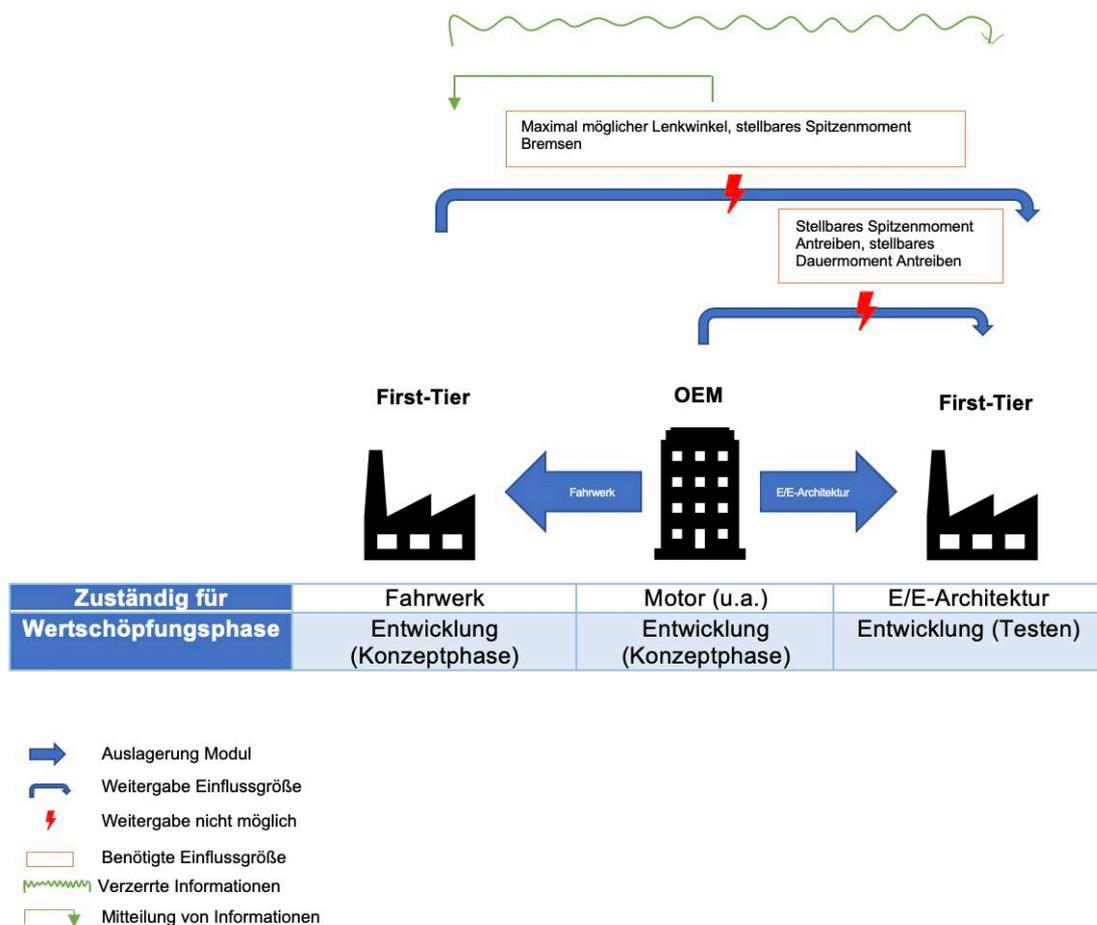


Abbildung 4-3: Grenzen bei Weitergabe von Informationen und Einflussgrößen

Zudem stellt die Modularisierung für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) eine Grenze hinsichtlich der anzuschaffenden Technologien, Ressourcen und Anlagen zum Durchführen der Tests dar. Diese müssen über das nötige Personal im technischen, wirtschaftlichen, rechtlichen und kundenorientierten Bereich verfügen, um das Lastenheft korrekt erstellen zu können. Weiterhin ist bei der Definition der Testfälle kein generelles Vorgehen festgelegt, da dies produkt- und anwendungsfall-spezifisch erfolgt. Hier sind ganz im Gegenteil Kompetenzen und Erfahrung im Unternehmen gefragt, die mit viel Aufwand in Verbindung stehen.⁵⁶

4.4 Zusammenfassung

Wie das Kapitel gezeigt hat, können bei der Modularisierung durchaus Schwierigkeiten auftreten, die beim Einsatz beachtet werden müssen. Insgesamt wurden 3 Grenzen erarbeitet, die nun zusammengefasst werden.

- Eine Gleichmodulstrategie ist mit einem gewissen Risiko verbunden, wenn ein eingesetztes Modul einen Fehler aufweist, der erst in der Nutzungsphase aufgedeckt wird. Daraus ergeben sich rechtliche und wirtschaftliche Auswirkungen. Liegt ein Fehler vor, so muss der

⁵⁶ Lindemann, U.: Handbuch Produktentwicklung (2016), S. 554.

Automobilhersteller auf Grundlage des §1 ProdHaftG, §823 Abs. 1 BGB oder der festgelegten vertraglichen Vereinbarungen dafür haften und den Fehler beheben. Hierfür muss der OEM Rückrufaktionen starten, die mit hohen wirtschaftlichen Kosten verbunden sind. Außerdem erwecken solche Rückrufaktionen oft eine große Aufmerksamkeit in den Medien. Infolgedessen muss der Automobilhersteller unter Imageschäden, Vertrauensverlust und dementsprechend unter Gewinneinbußen sowie Verlust an Marktanteilen leiden. Hinzu kommt die Problematik, wem die Schuld zugewiesen wird, wenn das defekte Modul von einem Lieferanten produziert wurde.⁵⁷

- Manche Unternehmen können von den Vorteilen einer Modularisierung nicht profitieren, weil sie bei der Einführung des Ansatzes scheitern. Dafür gibt es unterschiedliche Gründe:
 1. Viele Unternehmen begehen den Fehler, dass sie sich nicht genug mit der Bedeutung und den Anforderungen der Modularisierung auseinandersetzen. Insbesondere die strategischen Fähigkeiten haben eine bedeutende Rolle, da die Produkte beispielsweise so aufgeteilt werden müssen, dass diese Aktualisierungen zulassen. Außerdem ist es wichtig, dass die Schnittstellen zwischen den Modulen nicht mehr verändert werden nachdem sichergestellt wurde, dass diese die Interaktion der Module erlauben.^{58a}
 2. Weiterhin muss die Organisationsstruktur an einen modularen Entwicklungsprozess angepasst werden. Dies führt dazu, dass sich Veränderungen in der Verteilung der Verantwortlichkeiten und Autorität des Entwicklungspersonals ergeben, sodass eine Verschiebung der Machtstrukturen und Beziehungen in einer Organisation stattfinden. Folglich verlieren einige Mitarbeiter Macht oder der Wert ihrer Tätigkeit sinkt, weshalb sich diese weigern, die Veränderungen anzunehmen.^{58b}
- Beim Testen der einzelnen Module sind oft Informationen nötig, die nicht das eigene Unternehmen besitzt, sondern andere First-Tier-Lieferanten. Diese Informationen sind vor allem für die Schnittstellen zwischen den Modulen wichtig, wie zum Beispiel die Werte von Einflussgrößen. Ohne diese kann nämlich das Modul nicht getestet werden. Dabei kann es vorkommen, dass die Informationen nicht übermittelt werden können, weil diese oft vertrauliche Daten sind, die nicht immer offengelegt werden.⁵⁹

⁵⁷ Maurer, M. et al. Hrsg: Autonomes Fahren (2015), S. 618ff.

⁵⁸ Sanchez, R.: Building Real Modularity Competence (2013), a: S. 220f, b: S. 222f..

⁵⁹ Ostertag, R.: Supply-Chain-Koordination in der Automobilindustrie (2008), S. 30.

5 Verstärkte Modularisierung bis zum System of Systems

Bis zum vorliegenden Kapitel wurde eine Gleichmodulstrategie betrachtet. In diesem Kapitel wird nun eine weitere Stufe der Modularisierung betrachtet, nämlich eine verstärkte Modularisierung. Ziel des Abschnittes ist es, eine Potenzialanalyse der verstärkten Modularisierung durchzuführen. Dafür werden zu Beginn die Grundlagen der verstärkten Modularisierung ausführlich erläutert. Des Weiteren setzt sich dieses Kapitel mit dem System of Systems, die höchste Stufe der Aufteilung einer Architektur, auseinander. Auch in diesem Bereich werden die Potenziale dieser Methode analysiert. Dieser Abschnitt dient als Grundlage für das 6. Kapitel, in dem untersucht wird, inwiefern eine verstärkte Modularisierung bei der Einführung automatisierter Fahrzeuge Vorteile mit sich bringt.

5.1 Verstärkte Modularisierung

5.1.1 Grundlagen

Im Kapitel Stand der Technik wurde bereits erwähnt, dass sich das Prinzip der verstärkten Modularisierung auf einen modularen Baukasten bezieht.

Die Baukastenbauweise kann wie folgt besonders gut verstanden werden. Der modulare Baukasten ist mit einem Hochregal aus mehreren Regalbrettern vergleichbar (s. Abbildung 5-1).

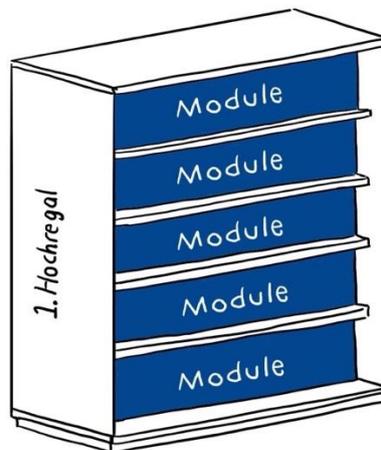


Abbildung 5-1: Hochregalprinzip zur Erklärung des modularen Baukastens⁶⁰

In jeder Regalstufe befinden sich unterschiedliche Versionen eines Moduls (z.B. unterschiedliche Versionen eines Fahrwerks in einer Regalstufe und unterschiedliche Cockpitversionen in einer anderen Stufe). Aus jeder Regalstufe wird eine Version des jeweiligen Moduls ausgewählt, die dann miteinander kombiniert werden können, solange die Schnittstellen standardisiert sind. Dieses Kombinationssystem ermöglicht eine effiziente Vielfalt von Variierungsumfängen, da eine geringe interne

⁶⁰ Hoffmann, C.-A.: Methodik zur Steuerung eines modularen Baukastens (2018), S. 92.

Vielfalt (also eine geringe Anzahl unterschiedlicher Versionen eines Moduls) zu einer hohen externen Vielfalt (also eine hohe Produktvielfalt) führt. Das Ziel des Unternehmens beim Einsatz dieser Strategie ist es, einen wirtschaftlichen Nutzen zu ziehen.⁶¹ Inwiefern Kosteneinsparungen erreicht werden können, wird in 5.1.2 ausführlich erläutert.

Ein gutes Beispiel, um die modulare Baukastenbauweise darzustellen, ist der modulare Baukasten der Kollaboration von Renault und Nissan. Renault und Nissan entwickelten die modulare Fahrzeugarchitektur „4+1 Common Module Family“. Die „4+1“ bezieht sich auf die Aufteilung des Automobils in die 4 großen Module Motorraum (*engine compartment*), vorderer Unterboden (*FR under body*), hinterer Unterboden (*RR under body*) und Cockpit (*cockpit*) sowie ein Elektrik-/Elektronikmodul (*electrical&electronics*) (s. Abbildung 5-2).⁶² Wie Abbildung 5-2 zeigt, wurden für jedes Modul mehrere Versionen erstellt, die für unterschiedliche Fälle geeignet sind. Beispielsweise wurden für das Modul des Motorraums zwei Versionen erstellt: einen Motorraum für hohe Hauben und einen Motorraum für niedrige Hauben. Dabei eignet sich die hohe Haube für die Fahrzeugtypen Merzweckfahrzeug (*MPV*) und Geländewagen (*SUV*). Die niedrige Haube dagegen für konventionelle Limousinen (*SED*) und kleinere Schrägheckfahrzeuge (*H/B*). Die unterschiedlichen Versionen der Module werden so kombiniert, dass die 4 Fahrzeugtypen MPV, SUV, SED und H/B entstehen. Während die Fahrzeugtypen MPV und SUV lediglich den Motorraum als gemeinsames Modul aufweisen, sind alle 4 Module in den Fahrzeugtypen SED und H/B gleich. Die zwei letzteren unterscheiden sich demzufolge in der Karosserie. Obwohl die Module nur zu 4 Fahrzeugtypen kombiniert wurden, könnten aus den vorhandenen Modulen eigentlich 54 Variationen entstehen.⁶² Diese Kombinationen können außerdem über mehrere Baureihen eingesetzt werden.

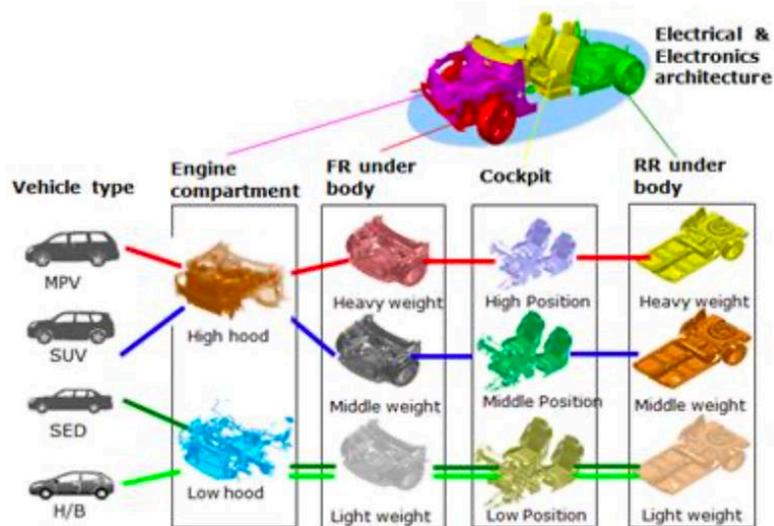


Abbildung 5-2: modulare Fahrzeugarchitektur „4+1 Common Module Family“ der Renault-Nissan Kollaboration⁶²

⁶¹ Hoffmann, C.-A.: Produkt- und produktionsseitige Strukturierungskonzepte (2018), S. 49.

⁶² Sanchez, R.; Shibata, T.: Modularity Design Rules (2018), S.27.

Baukastensysteme können nach dem Baukastencharakter für Benutzer und nach der Extensität unterteilt werden.^{63a}

Hinsichtlich des Baukastencharakters für Benutzer werden der Herstellerbaukasten und der Anwenderbaukasten unterschieden. Der Herstellerbaukasten ist ein Baukastensystem, das beim Produzenten zusammengebaut wird und dann in der Regel nicht mehr verändert wird (z.B. der Baukasten der Kollaboration Renault und Nissan). Für die Nutzer hat der Herstellerbaukasten keinen Baukastencharakter, da der Nutzer keine Möglichkeit hat, die Bausteine nach seinen eigenen Vorstellungen zu gestalten. Im Gegensatz dazu kann beim Anwenderbaukasten das Endprodukt nach eigenen Bedürfnissen zusammengestellt werden. Die Bausteine werden beim Hersteller produziert und anschließend vom Benutzer montiert bzw. konfiguriert.^{63a}

Viel wichtiger für das nächste Kapitel ist die Extensität von Baukastensystemen. In diesem Zusammenhang werden drei Kategorien unterschieden: der Lieferantenbaukasten, der OEM-Baukasten und der Industriebaukasten. Der Lieferantenbaukasten ist ein Baukastensystem, das beim Zulieferer vorliegt. In der Praxis geben verschiedene OEMs bei demselben Zulieferer Entwicklungsleistungen für beispielsweise Schiebedächer mit jeweils spezifischen Anforderungen. Um die unterschiedlichen Anforderungen erfüllen zu können, erstellt der Lieferant ein eigenes hausinternes Baukastensystem (im genannten Beispiel ein Schiebedächerbaukasten, das eine externe Differenzierung der Schiebedächer ermöglicht). Dabei werden die Gemeinsamkeiten der verschiedenen Aufträge ausgenutzt, indem für die Gemeinsamkeiten die gleichen Bauteile benutzt werden, sodass Kosten gespart werden können. Für die Unterschiede zwischen den Aufträgen werden dementsprechend unterschiedliche Bauteile erstellt. Beim OEM-Baukasten wird das gleiche Prinzip wie beim Lieferantenbaukasten angewendet. Beim Industriebaukasten gehen verschiedene OEMs eine Kooperation ein, sodass eine gemeinsame Entwicklung oder ein firmenübergreifender Einsatz von Bauteilen, Komponenten und Systeme ermöglicht wird, wie beispielsweise bei der Kooperation zwischen Renault und Nissan. Das Ziel der OEMs bei der Schaffung von Industriebaukästen ist die Einsparung von Kosten durch die Nutzung von Synergien, sodass der Kostendruck überwunden werden kann.^{63a} Die Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Baukastensystemen hinsichtlich der Extensität werden in Abbildung 5-3 bildlich dargestellt.

⁶³ Renner, I.: Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung (2007), a: S. 56f, b: S. 63.

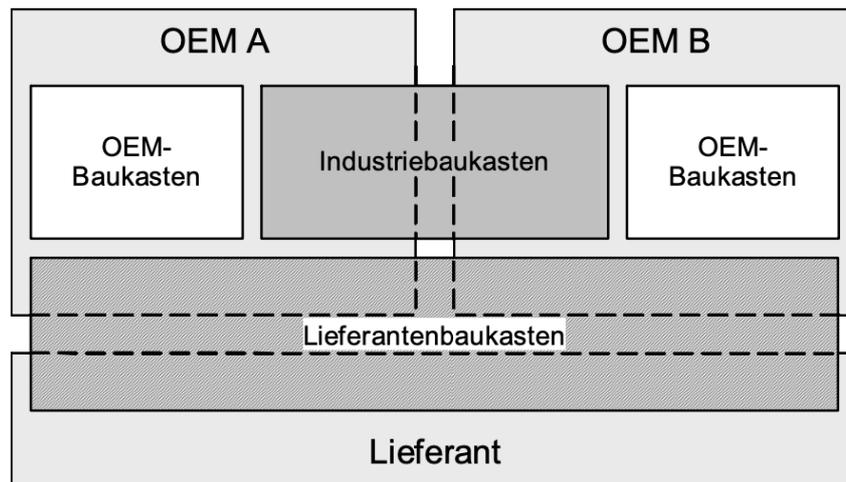


Abbildung 5-3: Extensität von Baukastensystemen ^{63a}

5.1.2 Potenzialanalyse der verstärkten Modularisierung

Auf der Grundlage der Erklärungen aus Abschnitt 5.1.1 kann nun die Potenzialanalyse durchgeführt werden. Dafür werden zu Beginn die bereits in der Literatur bekannten Vor- und Nachteile in den verschiedenen Phasen der Wertschöpfungskette beschrieben. Im Anschluss daran werden weitere Potenziale des modularen Baukastens erarbeitet.

5.1.2.1 Forschung und Entwicklung

Die Phase der Forschung und Entwicklung spielt in der Wertschöpfungskette eine besonders wichtige Rolle, da die nachfolgenden Schritte darauf aufbauen. Aus diesem Grund steht die Entwicklungsphase auch mit einem hohen Aufwand in Verbindung. In Bezug auf die Entwicklungszeit bietet das modulare Baukastensystem einen großen Vorteil. Wie bereits im Kapitel Stand der Technik beschrieben, werden die Synergien bei einer verstärkten Modularisierung sowohl fahrzeugtypen- als auch baureihenübergreifend ausgenutzt. Das bedeutet, dass gleiche Module über mehrere Fahrzeugtypen und ebenfalls über mehrere Baureihen eingesetzt werden. Dies ermöglicht eine Verteilung des Entwicklungsaufwandes auf mehrere Fahrzeugtypen und Baureihen, wodurch die Entwicklungszeiten weiter als bei einer Gleichmodulstrategie sinken. Zudem verteilt sich der Testaufwand genauso wie bei der Entwicklungszeit auf mehrere Fahrzeugtypen und Baureihen. Dagegen erfordert die Eigenschaft der Kombination höhere Gestaltungsaufwendungen, denn es muss sichergestellt werden, dass die Module miteinander kombiniert werden können. Auch Änderungen innerhalb eines Moduls können in der Baukastenstrategie zu Schwierigkeiten führen. Denn die beabsichtigte Änderung eines Moduls kann eventuell für eine Variante eines anderen Moduls nachteilig oder sogar unmöglich sein. Somit muss bei einer Änderung sichergestellt werden, dass diese auch mit den restlichen Modulen kompatibel ist. ^{63b}

5.1.2.2 Beschaffung

Aufgrund der geringen internen Varianz ergeben sich durch den modularen Baukasten Skaleneffekte. Skaleneffekte bezeichnen Größenvorteile, die sich darin zeigen, dass die Selbstkosten je Stück, d.h. die im Unternehmen anfallenden Kosten, mit steigender Produktionsmenge sinken. Dies ist genau der Fall beim modularen Baukasten, da weniger unterschiedliche Arten von Modulen in größeren Umfängen produziert werden. Diese Skaleneffekte ermöglichen dementsprechend einen niedrigeren Einkaufspreis, der zu einer größeren Abnahmemenge führen kann. Darüber hinaus führen die interne Varianz und die Auslagerung kompletter Module an Lieferanten zu einer Reduktion der Anzahl an Lieferanten, mit denen Verhandlungen geführt werden müssen.^{64a} Dies ermöglicht eine übersichtlichere Lieferantenstruktur, die den hohen Koordinations- und Kommunikationsaufwand erleichtert.

5.1.2.3 Produktion

Die Reduktion der Zahl unterschiedlicher Module und die Auflagenerhöhung durch Mehrfachverwendung gleicher Teile bringt in der Fertigung neben den Skaleneffekten ebenfalls eine Verringerung der Durchlaufzeiten. Zudem findet durch die geringe interne Vielfalt eine Reduzierung der Umstellungen bei Fertigungs- oder Montageabläufen und demzufolge eine Reduktion der Sortenwechselkosten statt. Zuletzt können durch den Einsatz von Industriebaukästen aufgrund des Zusammenschlusses von mehreren Automobilherstellern Produktionsfaktoren und Ressourcen gemeinsam benutzt und somit Verbund- und Synergieeffekte ausgenutzt werden.^{64b}

5.1.2.4 Absatz

In der Wertschöpfungsstufe des Absatzes kann mithilfe der hohen externen Vielfalt, die durch das Kombinationssystem entsteht, eine höhere Programmbreite angeboten werden. Dadurch kann das Risiko für ein erfolgloses Fahrzeug gestreut werden, denn oft passen verschiedene Modelle zu unterschiedlichen wirtschaftlichen Situationen. Beispielsweise wird der Mercedes-Benz CLS eher während eines wirtschaftlichen Aufschwungs gut verkauft während dies beim Mercedes-Benz A-Klasse ebenfalls der Fall in schlechten Zeiten ist. Ein erfolgloses neues Produkt kann für ein Unternehmen ein Problem werden, wenn das Unternehmen eine geringe Vielfalt aufweist, da dieses dann aufgrund der geringeren Anzahl an angebotenen Modellen nicht genug Einnahmen erzielt. Dagegen haben OEMs mit 10-20 Modellen gute Chancen, den Wettbewerb zu überleben.^{65a} Zudem ermöglicht das Vorhandensein fertiger oder weiterentwickelbarer Module eine schnellere und flexiblere Reaktion auf geänderte Randbedingungen des Marktes.^{64c} In solchen Fällen müssen nämlich lediglich die Komponenten oder Module geändert werden, die an die neuen Anforderungen angepasst werden müssen. Die restlichen Module, bei denen keine Änderungen notwendig sind, müssen nicht angepasst werden solange die Schnittstellen sich nicht geändert haben.

⁶⁴ Renner, I.: Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung (2007), a: S. 65, b: S. 64, c: S. 62.

⁶⁵ Parment, A.: Die Automobilindustrie – eine Charakterisierung (2016), a: S. 55, b: S. 54.

Ein hohe Produktvielfalt kann aber auch Nachteile aus folgendem Grund mit sich bringen. Ein breites Portfolio von Modellen benötigt größere Showrooms bei den Automobilhändlern, die höhere Betriebskosten verursachen. Damit steigt ebenfalls der nötige Absatz bezüglich der Profitabilität des Händlers. Infolgedessen entsteht ein höherer Stress für diejenigen, die im Vertrieb arbeiten, wenn die Verkaufszahlen sinken. Denn, während der Hersteller die Anforderungen erhöht und das Modellportfolio wächst, droht die Schließung der Händlerbetriebe, wenn diese nicht den kritischen Absatz erreichen.^{65b}

5.1.2.5 Kundenbeziehungen

Außer den beschriebenen Vor- und Nachteilen in den verschiedenen Phasen der Wertschöpfungskette, erweist sich ein modularer Baukasten für die Beziehungen zum Kunden ebenfalls als vorteilhaft.

Jeder einzelne Kunde will seine eigenen Vorstellungen im Privat- und Geschäftsbereich durchsetzen. Dies führt dazu, dass die Kunden immer anspruchsvoller werden, sodass das Unternehmen sich an die durch den Kunden gestellten Anforderungen anpassen muss.⁶⁶ Außerdem verursacht die andauernde Globalisierung die Notwendigkeit, dass Unternehmen sich von Wettbewerbern differenzieren. Aus den beiden Gründen kann das Ziel des Unternehmens nicht mehr die Kundenzufriedenheit sein. Sie müssen einen Schritt weiter gehen und auf die Kundenbegeisterung zielen, damit die Kunden von der Leistung fest überzeugt und emotional begeistert sind.^{67a} Die Begeisterung wird nach Gouthier^{67b} et al. erreicht, wenn „das Endresultat über die subjektiven Erwartungen der Kunden hinausgeht und es folglich zu einer positiven Nichtübereinstimmung kommt“. Folgende 3 Faktoren müssen beachtet werden, um die Kundenbegeisterung zu erreichen:

1. Die Kernleistung des Produktes muss begeistern und überzeugen.^{68a} Hier legt der Kunde vor allem viel Wert auf Zuverlässigkeit.⁶⁹
2. Die Marke muss den Kunden emotional ansprechen und Begeisterung hervorrufen.^{68a} Hierfür muss das Unternehmen dafür sorgen, dass auf allen Handlungsfeldern der Marke, d.h. Produkt, Design, Distribution und Kommunikation die gewünschten Vorstellungen der Kunden positiv übertroffen werden.⁷⁰ Da das Handlungsfeld Produkt schon im ersten Punkt betrachtet wird, fällt dieser in diesem Fall weg. Von den übrigbleibenden Bereichen (Design, Distribution und Kommunikation) stellt das Design das wichtigste Handlungsfeld dar. Denn laut dem DAT-Report 2017 gehört neben der Zuverlässigkeit (s. Punkt 1) das Design zu den entscheidenden Faktoren bei einem Neuwagenkauf.⁶⁹

⁶⁶ Holland, H.: Kundenbindungsmanagement in der Automobilbranche, S. 607.

⁶⁷ Gouthier, M. et al.: Kundenbegeisterung durch Service Excellence (2012), a: S. 334, b: S. 335.

⁶⁸ Holland, H.: Digitale Dienstleistungen in der Automobilbranche (2019), a: S. 28, b: S. 24, c: S. 26.

⁶⁹ Verband der Automobilindustrie: Zuverlässigkeit und attraktives Design (2018).

⁷⁰ Eljazovic, S.: Diss., Der MINI Relaunch (2018), S. 17.

-
3. *Service Excellence* anbieten, um eine hohe Anzahl an Kunden anzuziehen. Diese Strategie besteht darin, nach einer Verbesserung und die Weiterentwicklung der angebotenen Dienstleistungen zu streben. Dieser Ansatz wird insbesondere bei Premium- und Luxusanbieter angewendet.^{68a} Beispiele für solche Dienstleistungen sind Finanzierungsdienstleistungen und Navigations- und Unterhaltungsdienste über das integrierte Smartphone im Fahrzeug über CarPlay von Apple oder über Open Automotive Alliance von Google.^{68b} Weiterhin arbeiten viele Automobilhersteller an Fahrzeugbetriebssystemen, damit die Funktionen des Smartphones auch im Fahrzeug zur Verfügung stehen.^{68c}

Nun stellt sich die Frage, inwiefern ein modularer Baukasten die Erfüllung dieser 3 Faktoren ermöglicht. Für den ersten Punkt der Zuverlässigkeit erweist sich der modulare Baukasten als ein sehr hilfreiches Werkzeug. Grund dafür ist die wiederholte Verwendung und die Kombination von Modulen über mehrere Baureihen. Wenn der komplette Baukasten gestaltet ist und die Module bereits in vorherigen Modellen eingesetzt wurden, dann ist die Sicherheit der späteren Fahrzeuge, die anhand einer Kombination dieser Module entstehen, sichergestellt. Denn diese haben bereits vor und während der Nutzungsphase gezeigt, dass sie die Anforderungen fehlerfrei erfüllen. Außerdem bietet die modulare Bauweise auch die Möglichkeit, das Fahrzeug durch zusätzliche Funktionen zu erweitern, sodass eine bessere Leistung erreicht werden kann. Zum Beispiel kann das Fahrzeug so erweitert werden, dass dieses schneller fahren kann.

Auch für den Faktor des Designs ergeben sich Vorteile. Vorausgesetzt, dass ein getesteter modularer Baukasten vorliegt, kann ein Design schneller, genauer und ohne großen Abstimmungsaufwand erstellt werden, da der Designer bereits weiß, welche Anforderungen von den Modulen aus an das Design gestellt werden. Somit können die Karosserie und das Interieur-Design schneller und zu geringeren Kosten erstellt werden. Dies kann anhand des modularen Baukastens der Kollaboration von Renault und Nissan anschaulich erklärt werden (s. Abbildung 5-2). Da der Designer bereits weiß, welche Kombinationen möglich sind, um bspw. den Fahrzeugtyp SUV zu erstellen, und auch insbesondere die Abmessungen der Module kennt, kann dieser das Design schneller und somit auch kostengünstiger erstellen.

Und zuletzt eignet sich der modulare Baukasten ebenfalls für die Durchsetzung der *Service Excellence* besonders gut. Denn in diesem Bereich sind die Automobilhersteller mit Bereichen der Softwareentwicklung konfrontiert, mit denen sie anhand ihrer Kompetenzen nicht mithalten können.⁷¹ Somit können die gesparten Kosten in anderen Bereichen, wie zum Beispiel der Forschung und Entwicklung, der Produktion, der Beschaffung der Module und dem Design, benutzt werden, um im Bereich der Softwareentwicklung zu investieren. Außerdem begünstigen die Industriebaukästen die Entwicklung von Softwarefunktionen. Grund dafür ist, dass die bereits eingegangenen Kooperationen, um ein Modul zu entwickeln, ausgenutzt werden können, um Kosten und Zeit bei der Softwareentwicklung zu sparen und um den Austausch von Knowhow zu unterstützen. Dies kann auch der Bedrohung für die Automobilhersteller aufgrund der neuen Marktteilnehmer im Bereich der

⁷¹ Deloitte: Autonomes Fahren in Deutschland (2016), S. 2.

Softwareentwicklung entgegenwirken, da die OEMs durch die Kooperationen eigene Software entwickeln können.⁷¹

5.2 System of Systems

Das Prinzip des System of Systems stellt die höchste Stufe der Aufteilung einer Architektur dar. Im vorliegenden Abschnitt werden die Grundlagen behandelt und anschließend auf ein Beispiel angewendet. Damit kann daraufhin bewertet werden, ob diese Methode auf Modulebene übertragen werden kann.

5.2.1 Grundlagen

Ein System of Systems (SoS) ist ein übergeordnetes System, das aus einer endlichen Anzahl an untergeordneten Systemen (Subsystemen) besteht. Diese Subsysteme sind unabhängig voneinander und werden für eine bestimmte Zeit vernetzt, um ein bestimmtes höheres Ziel zu erreichen, nämlich das Ziel des System of Systems. Die Vernetzung der Subsysteme wird durch Kommunikation untereinander erreicht.^{72a} Die Subsysteme weisen folgende Eigenschaften auf, die wichtig sind, um die Funktionsweise eines SoS zu verstehen: Autonomie, Selbständigkeit, Verteilung, Entwicklung, dynamische Rekonfiguration, Interdependenz, Emergenz und Interoperabilität.

- a. *Autonomie.* Die nach Maier⁷³ vorliegende Eigenschaft der Führungsautonomie bedeutet, dass die Subsysteme die auszuführenden Aufgaben nach ihren Regeln ausüben während sie gleichzeitig am SoS teilnehmen.^{74a}
- b. *Selbstständigkeit.* Die Selbstständigkeit ist die Fähigkeit eines Subsystems unabhängig vom Rest des SoS zu arbeiten.^{74b}
- c. *Verteilung.* Die Verteilung stellt das Ausmaß dar, in dem die Subsysteme räumlich verstreut sind, sodass eine Konnektivität die Kommunikation oder den Informationsaustausch ermöglicht. Dabei kann sich die Verteilung auf eine Netzwerkverteilung von gleichzeitigen Prozessen oder auf eine physische Trennung beziehen.^{74b}
- d. *Entwicklung.* Aufgrund der Tatsache, dass SoS langlebig sind und Entwicklungen unterliegen (z.B. in der Funktionalität, in der Qualität der Funktionalität oder in der Struktur und Zusammensetzung der Subsysteme), verändern sich ebenfalls die Anforderungen an die Subsysteme.^{74b} Aus diesem Grund müssen diese in der Lage sein, die langfristigen Veränderungen durch Weiterentwicklung zu unterstützen.^{72b} Eine solche Weiterentwicklung kann sich beispielsweise in Form von Aktualisierungen der Subsysteme zeigen.^{74b}

⁷² Bondavalli, A. et al.: System-of-Systems to Support Mobile Safety (2018), a: S. 2, b: S. 3, c: S. 6.

⁷³ Maier, M.W.: Architecting Principles for Systems-of-Systems (1996).

⁷⁴ Nielsen, C.B. et al.: Systems of Systems Engineering (2015), a: S. 9, b: S. 10, c: S. 11f.

-
- e. *Dynamische Rekonfiguration.* Die dynamische Rekonfiguration bezieht auf die technischen Fähigkeiten, die ein SoS hat, um seine Zusammensetzung während des Betriebs zu ändern. Dies ist beispielsweise der Fall bei sich ändernden umweltbedingte Veränderungen.^{72c} Somit bezieht sich diese Eigenschaft auf kurzfristige Änderungen.
 - f. *Emergenz.* Bei der Emergenz handelt es sich um ein Verhalten, das als Ergebnis der Zusammenarbeit der Subsysteme entsteht. Somit kann oft dieses Verhalten nur auf SoS-Ebene erkannt werden. Die Zusammenarbeit ist aus dem Grund notwendig, dass das übergeordnete Ziel nur dann erreicht werden kann, wenn die Subsysteme zusammenarbeiten. Das Ziel eines emergenten Verhaltens ist es, eine höhere Funktionalität zu erreichen, als sie von den einzelnen Subsystemen möglich ist. In manchen Fällen ist es zudem möglich, dass unerwünschtes emergentes Verhalten entsteht. Deswegen ist es wichtig, dass mithilfe von Modellierungs- und Analysewerkzeugen nicht erwünschtes Verhalten identifiziert wird, um dieses zu verhindern.^{74c}
 - g. *Interdependenz.* Die Interdependenz bezieht sich auf die gegenseitige Abhängigkeit, die dadurch entsteht, dass das Verhalten eines Subsystems, um das übergeordnete Ziel zu erreichen, vom Verhalten der anderen Subsysteme abhängt. Denn nur durch die Zusammenarbeit der Subsysteme kann das Ziel erreicht werden.^{74c}
 - h. *Interoperabilität.* Die Interoperabilität bezieht sich auf die Fähigkeit eines SoS, eine Reihe von heterogenen Subsystemen zu integrieren. Bei Modellen von SoS, die einen hohen Bedarf an Interoperabilität erfordern, werden mehrere Versionen eines Subsystems erstellt. Die Integration und die Anpassung von Schnittstellen und Standards spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle, um die Kompatibilität der heterogenen Systeme zu garantieren. Damit ist ein hoher Bedarf an Techniken notwendig, die die Verifikation der Übereinstimmung der Schnittstellen zwischen den Subsystemen ermöglicht.^{74c}

Nachdem die Grundlagen ausführlich beschrieben wurden, folgt nun ein Beispiel aus der Praxis, um die Anwendung von SoS zu verstehen. Das HIDENETS Fahrzeugnetzwerk besteht aus einer Architektur, bei der Autos Subsysteme darstellen. Diese interagieren untereinander, indem alle erforderlichen Informationen zur Vermeidung von Kollisionen ausgetauscht werden. Somit ist das übergeordnete Ziel die Vermeidung von Kollisionen. Jedes Subsystem muss einen Mindestabstand zum vorausfahrenden Auto haben, um Kollisionen zu vermeiden, und einen maximalen Abstand zum hinteren Auto halten, um eine Unterbrechung der Kette zu vermeiden. Der Autofahrer interagiert mit dem Auto durch bestimmte Aktuatoren, d.h. das Gaspedal, die Bremse und die Taste zur Aktivierung der Funktion, um an der Kette teilzunehmen. Jedes Auto enthält wiederum weitere Subsysteme. Dazu gehören ein Sensor zur Bestimmung seiner Position (GPS-Empfänger), ein Sensor zur Auswertung der Abstände zu den vorderen und hinteren Autos (Abstandssensor) und ein Sensor zur Bestimmung seiner Geschwindigkeit (Geschwindigkeitssensor). Diese Informationen werden gesammelt und zwischen den Autos über ein Netzwerk ausgetauscht, um die Geschwindigkeit der Autos zu regulieren,

einen Zug zu bilden und schließlich Kollisionen zu vermeiden. Die beschriebenen Eigenschaften von Subsystemen können in diesem Beispiel wiedererkannt werden.^{75a}

- a. *Autonomie*. Da jedes Auto von unterschiedlichen OEMs hergestellt werden, laufen die Prozesse innerhalb der Fahrzeuge anders ab. Die Informationen zu den Geschwindigkeiten und den Abständen, die über das Netzwerk ausgetauscht werden, müssen im gleichen Format zu Verfügung stehen, damit der Informationsaustausch möglich ist. Dennoch können die Daten, wie z.B. die Umgebungsmodelle, die von den Sensoren aufgenommen werden, unterschiedlich verarbeitet werden, indem die Programme innerhalb des Fahrzeugs unterschiedlich implementiert werden.
- b. *Selbständigkeit*. Obwohl das Ziel des SoS durch die Zusammenarbeit der verschiedenen Subsysteme erreicht wird, können die einzelnen Subsysteme auch unabhängig voneinander arbeiten, d.h. sie brauchen sich nicht gegenseitig, damit das Fahrzeug fahren kann. Dennoch kann es aber u.U. auch sein, dass die Eigenschaft der Selbständigkeit nicht erfüllt wird. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn das eigene Ziel der Fahrzeuge geändert wird. Wenn als Ziel das Bestimmen des Abstandes zum vorausfahrenden Fahrzeug definiert wird, dann kann dieses nicht unabhängig vom Rest der Fahrzeuge erreicht werden. Zur Bestimmung des Abstandes werden nämlich die Geschwindigkeiten der anderen Fahrzeuge benötigt.
- c. *Verteilung*. Die Autos sind über den Straßen räumlich verteilt und sind über Netzwerke verbunden, die eine Weitergabe der Informationen über die Geschwindigkeiten ermöglichen.
- d. *Entwicklung*. Ein Beispiel für eine im HIDENETS-Szenario durchgeführte Entwicklung ist die Erweiterung des Fahrzeugs um Fernsteuerungsmöglichkeiten. Dafür wurde die Kommunikationsschicht zwischen den Fahrzeugen mit einem neuen Subsystem verbessert, das die neue Art von Interaktion verwaltet, um Fernentscheidungen durch Fahrzeugaktuatoren zu treffen.^{75b}
- e. *Dynamischen Rekonfiguration*. Um die Eigenschaft der *dynamischen Rekonfiguration* zu gewährleisten, wurden Algorithmen eingesetzt, die in der Lage sind, ihr Verhalten in Abhängigkeit von externen Faktoren anzupassen. Dies ist für das Erreichen des Ziels (Kollisionsvermeidung) wichtig, da es bestimmte Bedingungen gibt, die das Ziel bedrohen. Beispielsweise kann sich die Anzahl der am Zug teilnehmenden Autos schnell ändern, neue Fahrzeuge können identifiziert werden oder die Kommunikation mit einem oder mehreren festen Infrastrukturgeräten kann ausfallen. Um die Kollisionsvermeidung trotz der genannten Schwierigkeiten zu erreichen, wurden diese Algorithmen entwickelt, die sich je nach Situation anders verhalten.^{75b}
- f. *Emergenz*. Das emergente Verhalten erkennt man an der Bildung eines Zuges, in dem die Autos einen bestimmten Abstand zueinander haben. Typische Beispiele für negative

⁷⁵ Bondavalli, A. et al.: System-of-Systems to Support Mobile Safety (2018), a: S. 5, b: S. 6, c: S. 7.

Emergenzen sind Verkehrstaus. Solche Ereignisse entstehen durch eine Kombination mehrerer Faktoren, z.B. durch individuelle Entscheidung und Gewohnheiten.^{75c}

- g. *Interdependenz*. Die Interdependenz zeigt sich darin, dass das Verhalten (die Geschwindigkeit) eines Subsystems von den Geschwindigkeiten der anderen Subsysteme abhängt, sodass Kollisionen vermieden werden können.
- h. *Interoperabilität*. Das HIDENETS-Netzwerk bietet die Möglichkeit, viele verschiedene Subsysteme aufzunehmen, denn es können beispielsweise sowohl alle möglichen PKWs als auch LKWs am Zug teilnehmen.

5.2.2 Potenzialanalyse des System of Systems

Dieses Unterkapitel widmet sich der Frage, ob eine solche Aufteilung eines Systems wie beim System of Systems auch bei Modulen möglich ist. Dies erfolgt anhand der E/E-Architektur der Fahrzeuge im Projekt UNICARagil (Abbildung 2-6), indem versucht wird, die beschriebenen Eigenschaften eines SoS auf diese Architektur zu übertragen. Dabei stellt die E/E-Architektur das SoS dar und die Module der E/E-Architektur die Subsysteme des SoS. Bevor mit der Analyse begonnen wird, muss ein übergeordnetes Ziel für das SoS (also für die E/E-Architektur) definiert werden. Als Ziel kann beispielsweise die Weiterleitung der Signale von den Sensormodulen bis zu den Dynamikmodulen definiert werden.

- a. *Autonomie*. Wie im Kapitel 4 bereits beschrieben wurde, sind die einzelnen Module der E/E-Architektur in den Fahrzeugen des UNICARagil-Projekts für unterschiedliche Aufgaben zuständig. Die Sensormodule für die Perzeption der Umgebung, das Großhirn für die Verarbeitung der Umgebungsmodelle zu einer Trajektorie, das Stammhirn u.a. für die Trajektorienregelung und das Abfahren der Notbahnen und das Rückenmark für die Zustellung der notwendigen Antriebs- und Bremsmomente sowie Lenkwinkeln. Aufgrund der verschiedenen Ziele der Module beinhalten diese verschiedene Programme und damit auch unterschiedliche Regeln, die das Verhalten der einzelnen Module prägen.
- b. *Selbständigkeit*. Im Fall der Selbständigkeit gibt es einige Gründe, die gegen die Anwendbarkeit dieser Eigenschaft auf Modulebene der E/E-Architektur sprechen. Beispielsweise können die Dynamikmodule nicht funktionieren, ohne dass die Lenkwinkel sowie Antriebs- und Bremsmomente durch das Rückenmark zur Verfügung gestellt werden. Auch das Großhirn kann ohne die Umgebungsmodelle der Sensormodule das eigene Ziel nicht durchsetzen.
- c. *Verteilung*. Dieses Merkmal ist eine der Anforderungen, die die Modularisierung an die Architektur eines Produktes stellt. Nämlich die physische Trennbarkeit. In den Fahrzeugen des Projekts UNICARagil sind die Module über das Fahrzeug verteilt. Dies kann in Abbildung 2-6 erkannt werden. Die Netzwerkverteilung von gleichzeitigen Prozessen ist in diesem Fall nicht gegeben, da die Aufgaben der Module in der E/E-Architektur aufeinander aufbauen. Beispielsweise finden im Großhirn erst Prozesse statt, nachdem die Umgebungsmodelle von den Sensormodulen übermittelt wurden. Dies stellt aber kein Problem für das Vorliegen der

Eigenschaft der Verteilung dar, da nur entweder die physische Trennbarkeit oder die Netzwerkverteilung gleichzeitiger Prozesse vorliegen muss.

- d. *Entwicklung*. Auch die Eigenschaft der Entwicklung, d.h. die Forderung danach, dass die Subsysteme weiterentwickelbar sein müssen, ist eine der Voraussetzungen in der Modularisierung, die somit auch bei den Modulen der E/E-Architektur möglich ist.
- e. *Dynamische Rekonfiguration*. Die einzelnen Module der E/E-Architektur können ebenfalls bei umweltbedingten Veränderungen arbeiten, da die Sensormodule auch bei Regen oder bei Staus die Umgebung wahrnehmen und weiterleiten können. Die weiteren Vorgänge sind von den externen Umweltbedingungen unabhängig. Die dynamische Rekonfiguration ist ebenfalls möglich, wenn sich das Verhalten der internen Module ändert, da diese aufeinander abgestimmt sind. Auch in dem Fall, dass ein Verhalten vorliegt, das einem internen Modul nicht bekannt ist, wird abgedeckt. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine Komponente oder ein Modul ausfällt. In einer solchen Situation wird die Notbahn eingeleitet.⁷⁶
- f. *Emergenz*. Die Emergenz zeigt sich darin, dass die Weiterleitung der Signale von den Sensormodulen bis zu den Dynamikmodulen ausschließlich durch die Zusammenarbeit der unterschiedlichen Module entsteht. Außerdem ist unerwünschtes Verhalten ebenfalls möglich. Denn, obwohl die Module getestet werden, können durch die hohe Komplexität der Systeme und die hohe Anzahl an Testfällen, aus Zeitgründen nicht alle Fälle abgedeckt werden, sodass nicht vorhergesehenes Verhalten durchaus möglich ist. Diese Eigenschaft ist mit der Integrität bei der Modularisierung vergleichbar. Denn diese sagt aus, dass die Module interagieren müssen (also zusammenarbeiten müssen), damit das Endprodukt als Ganzes funktioniert.
- g. *Interdependenz*. Die Interdependenz ist die gegenseitige Abhängigkeit, die im Punkt b bereits erwähnt wurde. Nämlich, dass bspw. das Großhirn die Trajektorie nicht planen kann, wenn dieses die Umgebungsmodelle der Sensormodule nicht besitzt. Somit kann das Ziel der Weiterleitung der Signale von den Sensormodulen bis zu den Dynamikmodulen nur durch die Zusammenarbeit aller Module erreicht werden.
- h. *Interoperabilität*. Die E/E-Architektur des Projekts UNICARagil besteht aus den Modulen Sensormodule, Großhirn, Stammhirn, Rückenmark und Dynamikmodule und stellt somit ein System aus heterogenen Modulen dar. Weiterhin sind diese Module über Kabel verbunden, die die standardisierten Schnittstellen darstellen, wie von der Interoperabilität gefordert wird. Und nicht zuletzt können mehrere Versionen eines Moduls erstellt werden. Beispielsweise können unterschiedliche Arten von Sensormodulen entwickelt werden, die unterschiedlich gute Fähigkeiten besitzen. Die Art der Sensormodule kann dabei vom Käufer gewählt werden, je nachdem welche Anforderungen dieser an die Sensormodule hat.

⁷⁶ Woopen, T. et al.: UNICARagil - Disruptive Modular Architectures (2018), S. 11.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass alle Eigenschaften eines System of Systems auf die Module der E/E-Architektur übertragen werden können außer das Merkmal der Selbständigkeit (s. Tabelle 5-1).

Tabelle 5-1: Übertragung des SoS auf Modulebene am Beispiel der E/E-Architektur im UNICARagil Projekt

Eigenschaft	Ja	Nein
Autonomie	X	
Selbständigkeit		X
Verteilung	X	
Entwicklung	X	
Dynamische Rekonfiguration	X	
Interdependenz	X	
Emergenz	X	
Interoperabilität	X	

An dieser Stelle stellt sich also die Frage, ob eine Anwendung des SoS auf Modulebene komplett verworfen wird, lediglich weil der Aspekt der Selbständigkeit nicht angewendet werden kann. Da das System HIDENETS als SoS betrachtet wird, obwohl die Eigenschaft der Selbständigkeit u.U. nicht erfüllt wird, könnte eine Übertragung des SoS auf die E/E-Architektur genauso möglich sein. Trotzdem ist es eine Überlegung wert, ob die Eigenschaft der Selbständigkeit erfüllt werden kann, wenn die Betrachtungsweise geändert wird. Dafür wird nun die E/E-Architektur als ein Modul betrachtet (davor wurde die E/E-Architektur als eine Zusammensetzung aus Modulen betrachtet). Somit wäre nun das Fahrzeug das SoS und die E/E-Architektur das Subsystem. Genauso wie im Beispiel HIDENETS hängt auch in diesem Fall das Vorliegen der Selbständigkeit von der Definition des Ziels ab. Wird als Ziel der E/E-Architektur die Weiterleitung der Signale von den Sensormodulen bis zu den Dynamikmodulen definiert, so wird die Selbständigkeit erreicht. Denn die Weiterleitung der Signale kann unabhängig vom Rest der Module des Fahrzeugs (z.B. unabhängig vom Fahrwerk, Motor, usw.) erfolgen. Wird jedoch als Ziel das Übertragen der benötigten Momente an die Reifen definiert, so kann die Selbständigkeit ohne die Reifen nicht vollständig erreicht werden. Nicht nur die Reifen sind für das Erreichen des Ziels notwendig, sondern ebenfalls der Motor und die weiteren Bauteile, die die Reifen zum Drehen bringen. Somit kann also festgehalten werden, dass die Eigenschaft der Selbständigkeit von der Definition des Ziels abhängt.

Obwohl ein SoS auch ohne die Eigenschaft der Selbständigkeit vorliegen kann, bringt diese Eigenschaft einen großen Vorteil im Hinblick auf die Schwierigkeiten beim Informationsaustausch zwischen den Lieferanten. Denn, wenn ein Modul, das als Subsystem eines SoS betrachtet werden kann (inkl. Eigenschaft der Selbständigkeit), an einen Lieferanten ausgelagert wird, dann braucht dieser nicht so viele Informationen von anderen Lieferanten (z.B. Einflussgrößen zum Testen, s. Grenzen

der Modularisierung), da das Ziel unabhängig vom Rest der Module erreicht werden kann. Auf diese Art und Weise entstehen weniger Abhängigkeiten, sodass der Entwicklungs- und Produktionsprozess vereinfacht werden kann. Folglich kann durch ein SoS (inkl. Eigenschaft der Selbständigkeit) eine der Grenzen der Modularisierung teilweise gelöst werden.

Anhand des Beispiels wurde gezeigt, dass es durchaus möglich ist, ein System of Systems auf ein System bestehend aus Modulen zu übertragen. Nun stellt sich jedoch die Frage, ob dieses Prinzip auf andere Systeme anwendbar ist. Dafür muss für das jeweilige System das Vorliegen der Eigenschaften überprüft werden. Die Vorgehensweise ist dabei analog zum beschriebenen Beispiel der E/E-Architektur.

5.3 Zusammenfassung

Als Fazit des 5. Kapitels lassen sich folgende Kernaussagen formulieren:

- Das Prinzip des modularen Baukastens besteht darin, unterschiedliche Versionen eines Moduls zu erstellen und mit anderen Versionen von weiteren Modulen zu kombinieren. Dies ermöglicht es, mit einer geringen internen Vielfalt eine hohe externe Vielfalt zu erreichen.⁷⁷
- Hinsichtlich der Extensität werden die Baukastensysteme in folgende Kategorien unterteilt: Lieferantenbaukasten, OEM-Baukasten und Industriebaukasten.^{78a}
- Die Vor- bzw. Nachteile eines modularen Baukastens sind:^{78b}
 - FuE
 - Vorteile: Verteilung der Entwicklungszeiten und des Testaufwands auf mehrere Fahrzeugtypen und Baureihen.
 - Nachteil: höhere Gestaltungsaufwendungen, Änderungen in einem modularen Baukasten ziehen sich durch mehrere Varianten.
 - Beschaffung
 - Vorteile: Skaleneffekte, Reduktion der Anzahl an Lieferanten, übersichtlichere Lieferantenstruktur und damit Vereinfachung des Koordinations- und Kommunikationsaufwandes.
 - Produktion
 - Vorteile: geringere Durchlaufzeiten, Reduktion der Sortenwechselkosten, Verbund- und Synergieeffekte.

⁷⁷ Hoffmann, C.-A.: Produkt- und produktionsseitige Strukturierungskonzepte (2018), S. 49.

⁷⁸ Renner, I.: Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung (2007), a: 56f., b: S. 63ff.

-
- Absatz
 - Vorteile: höhere Programmbreite, Risikostreuung auf mehrere Modelle, schnellere Reaktion auf Marktänderungen.
 - Nachteile: größere Showrooms und damit höhere Betriebskosten, dementsprechend höherer Druck auf Händler.
 - Kundenbeziehungen
 - Vorteile: Höhere Zuverlässigkeit durch wiederholte Verwendung von in der Nutzungsphase getesteten Modulen, schnellere Erstellung eines Designs, Konzentration auf Kompetenzen wie *Service Excellence*.
 - Ein SoS ist ein übergeordnetes System, das aus einer Vielzahl von Subsystemen besteht, die folgende Eigenschaften aufweisen: Autonomie, Selbständigkeit, Verteilung, Entwicklung, dynamische Rekonfiguration, Interdependenz, Emergenz und Interoperabilität.⁷⁹
 - Eine Anwendung des SoS auf Modulebene, in der die Module die Subsysteme darstellen, ist möglich auch wenn die Eigenschaft der Selbständigkeit nicht erfüllt wird. Jedoch hat die Selbständigkeit einen großen Vorteil im Hinblick auf die Schwierigkeiten beim Informationsaustausch zwischen den Lieferanten. Deswegen ist es sinnvoll, das SoS so zu definieren, dass diese Eigenschaft vorliegt. Dabei muss beachtet werden, dass die Selbständigkeit von der Definition des Ziels abhängt. Aus diesem Grund sollte das Ziel des Subsystems so definiert werden, dass das Ziel unabhängig von den restlichen Subsystemen erreicht werden kann.
 - Eine Anwendung des SoS (inkl. Selbständigkeit) würde in der Hinsicht Vorteile bringen, dass zwischen den Lieferanten weniger Abhängigkeiten entstehen. Grund dafür ist, dass weniger Einflussgrößen und auch weniger Informationen von den verschiedenen Lieferanten gebraucht werden.

⁷⁹ Nielsen, C.B. et al.: Systems of Systems Engineering (2015), S. 9ff.

6 Auswirkungen auf die Einführung automatisierter Fahrzeuge

Die Einführung automatisierter Fahrzeuge steht zurzeit vor großen Herausforderungen, da durch die Elektrifizierung des Antriebsstranges, die Vernetzung und die Automatisierung neue Konzepte entstehen, die das über 100 Jahre alte System der Mobilität verändern.⁸⁰ Dieses Kapitel überprüft auf der Grundlage des Kapitels 5.1, inwiefern eine verstärkte Modularisierung eine Hilfe für die Einführung automatisierter Fahrzeuge darstellt. Dafür wird zu Beginn der Begriff des automatisierten Fahrens definiert. Daraufhin werden die Herausforderungen bei der Einführung vollautomatisierter Fahrzeuge konkretisiert. Gleichzeitig wird der Ansatz der verstärkten Modularisierung bewertet.

6.1 Analyse

Die Society of Automotive Engineers (SAE) hat zur Definition des automatisierten Fahrens mehrere Automatisierungsstufen eingeführt, die sich von Stufe 0 bis Stufe 5 erstrecken. Auf dem Niveau 0 („kein automatisiertes Fahren“) übernimmt der Fahrer die vollständige Fahraufgabe. Auch Stufen 1 und 2 stellen kein automatisiertes Fahren dar, sondern Fahrerassistenzsysteme. Während in Stufe 1 lediglich entweder die Funktion des Lenkens oder des Beschleunigens/Bremsens vom System durchgeführt wird, können in Stufe 2 beide Funktionen vom System übernommen werden. Die automatisierte Fahrzeugführung beginnt ab Stufe 3 („bedingte Automatisierung“), indem das System die vollständige Fahraufgabe durchführt. Dabei wird aber erwartet, dass der menschliche Fahrer angemessen auf eine Aufforderung zum Eingreifen und auf einen Systemausfall reagiert. Im Gegensatz dazu kann beim „hochautomatisierten Fahren“ (Stufe 4) das Fahrzeug sicher angehalten werden, wenn der menschliche Fahrer nicht auf die Aufforderungen des Systems zum Eingreifen angemessen reagiert. Diese Stufe stellt jedoch keine volle Automation dar, da nicht alle Fahrmodi vom System ausgeführt werden können. Die Ausführung aller Fahrmodi ist erst ab der letzten Stufe („volle Automation“) möglich, da die Fahraufgabe unter allen Bedingungen vom System ausgeführt werden kann.⁸¹

Der Einsatz automatisierter Fahrzeuge ($SAE \geq 3$) hat einige Vorteile, wie z.B. Komfortgewinn für den Fahrer, Verringerung der Unfallzahl, weniger Staus und eine Reduktion der CO₂-Ausstöße.^{82,83} Jedoch steht die Einführung solcher Fahrzeuge zurzeit vor großen Herausforderungen, die im Folgenden näher erläutert werden.⁸³

Ein Bereich, der eine hohe Wichtigkeit bei automatisierten Fahrzeugen aufweist, ist die Vernetzung. Kunden erwarten von den vernetzten Diensten genauso viel Vielfalt von Apps wie auf den Smartphones, sodass sie immer online sind. Dazu gehören u.a. Online-Nachrichtendienste, die Anzeige des Fahrzeugzustandes, die Parkplatzsuche durch ein Navigationssystem, das Streamen von Musik und

⁸⁰ Kagermann, H.: Die Mobilitätswende (2017), S. 357.

⁸¹ SAE: Taxonomy and Definitions for Driving Automation, S. 17.

⁸² Deloitte: Autonomes Fahren in Deutschland (2016), S. 2.

⁸³ Bernhart, W.: Automatisiertes Fahren — Evolution statt Revolution (2015), S. 12.

Filmen oder das Nutzen von sozialen Netzwerken. Insbesondere die Bevölkerung zwischen 18-30 Jahren hat ein großes Interesse an *Connected Car Services* (s. Abbildung 6-1).⁸⁴

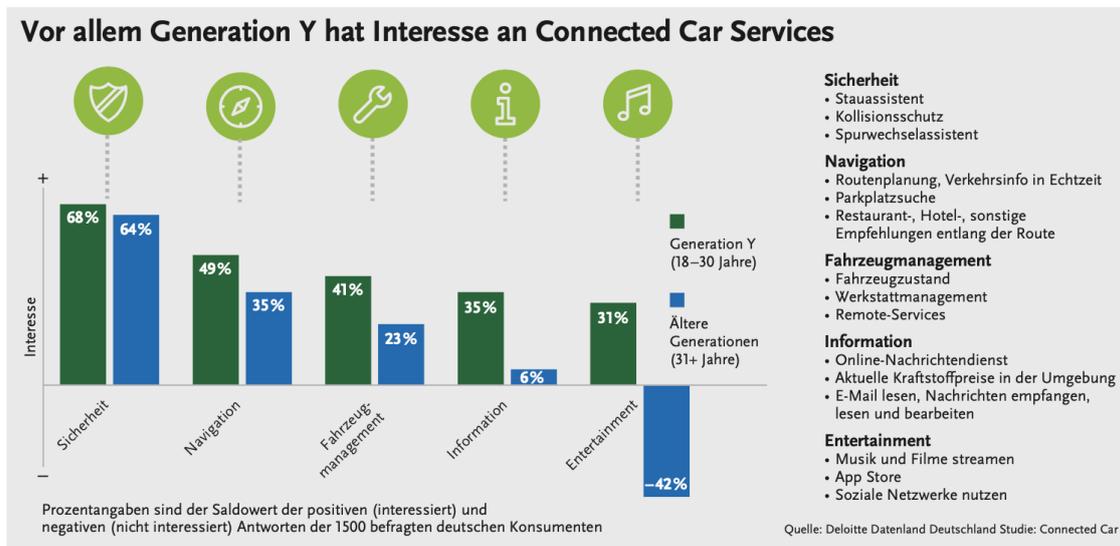


Abbildung 6-1: Interesse an Vernetzung⁸⁴

Die schnelle Entwicklung von Smartphones und Apps führt jedoch dazu, dass die Automobilhersteller nicht mithalten können. An der Stelle tritt ein Konflikt auf. Denn die proprietäre Telematiksysteme der OEMs gestatten keine Entwicklung neuer Apps durch den App-Anbieter, weil die letzteren keinen Zugriff auf die geschlossenen Fahrzeugsysteme haben. Gleichzeitig können aber die OEMs nicht alleine gegen Millionen von Entwicklern antreten. Aus diesem Grund entsteht folgende Anforderung an die OEMs. Die Automobilhersteller müssen sich auf die eigenen Stärken konzentrieren, sodass sie diese ausnutzen können. Die Bereiche auf die sie sich konzentrieren müssen, umfassen fahrzeugnahe Dienste wie zum Beispiel die Sicherheit und das Aftersales-Service.⁸² Durch die Aufteilung des Fahrzeugs in Module kann diese Strategie besonders gut angewendet werden. Wie im Kapitel 3.2 beschrieben, wird ein großer Anteil der Module an die Lieferanten ausgelagert, sodass der OEM sich auf die markenprägenden Module (Motor, Karosserie) konzentrieren muss. Dieses Prinzip kann nun verstärkt angewendet werden, sodass die Automobilhersteller nur noch Aufgaben in den Bereichen Sicherheit und Aftersales-Service durchführen müssen. Für die Entwicklung der vernetzten Dienste müssen die OEMs die richtigen Partner finden. Dafür können die Kooperationen, die für Industriebaukästen eingegangen wurden, ausgenutzt werden, um die Apps zu entwickeln. Dies stellt ein Vorteil dar, da keine neue Kooperationspartner gefunden werden müssen und bereits ein bestimmtes Ausmaß an Vertrauen besteht, wodurch die Zusammenarbeit verbessert werden kann.

Eine viel größere Herausforderung für die OEMs stellt jedoch die Sicherheit bei den automatisierten Fahrzeugen dar. Einerseits ist die Übertragung der Testkonzepte von FAS auf automatisierte Fahrzeuge aus ökonomischen und zeitlichen Gründen nicht möglich, sodass neue Testkonzepte nötig sind (s. Motivation). Andererseits besteht bei den potenziellen Nutzern eine hohe Skepsis hinsichtlich der

⁸⁴ Schiller, T.: Zeitdrang in der Automobilindustrie (2017), S. 2.

Nutzung der Technik. Laut einer Umfrage schätzen mehr als die Hälfte der Befragten (55%) die Systeme als fehleranfällig und das Risiko für Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer als hoch ein.⁸⁵ Im Hinblick auf die Sicherstellung der Sicherheit bietet eine verstärkte Modularisierung ein hohes Potenzial. Die Auslagerung der Module an unterschiedliche Lieferanten ermöglicht eine bessere Qualität der Module. Grund dafür ist das spezialisierte Wissen im Bereich des jeweiligen Moduls und die größere Menge an benutzten Ressourcen eines Lieferanten für die Entwicklung des Moduls. Auch das partikuläre Testen wird durch eine modulare Betrachtungsweise möglich, was einer der Ausgangspunkte dieser Thesis ist (s. Motivation). Zudem muss angemerkt werden, dass die Einführung vollautomatisierter Fahrzeuge nicht von einem Moment auf den anderen erfolgt. Dies geschieht nämlich stufenweise nach den SAE Levels, wie in Abbildung 6-2 dargestellt. Durch die modulare Betrachtungsweise der Fahrzeuge können einzelne Funktionen von den unteren Stufen der SAE Levels für die höheren übernommen und daraufhin erweitert werden, sodass ein höherer Automatisierungsgrad erreicht werden kann. Ein Beispiel hierfür ist die Funktion des Autobahn-Pilots, die der Autobahn-Chauffeur Funktion mit einer höheren Automatisierung entspricht (s. Abbildung 6-2). Weiterhin können mehrere Funktionen miteinander kombiniert werden, die über die unterschiedlichen SAE Stufen hinweg getestet wurden. Auf diese Art und Weise müssen diese nicht erneut getestet werden und können direkt für die nächste Stufe eingesetzt werden, ohne dass diese neu entwickelt werden müssen. Dies spart erheblich viel Entwicklungszeit und bietet eine höhere Sicherheit, da die Funktionen bereits während der Nutzungsphase gezeigt haben, dass sie die Aufgaben erfolgreich durchführen.

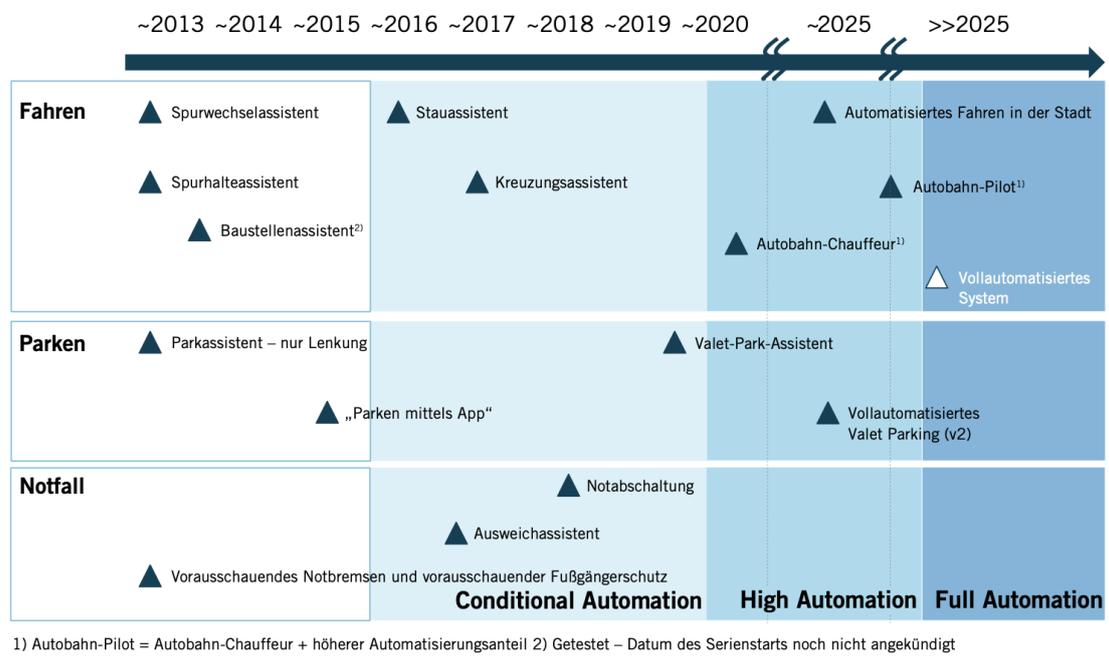


Abbildung 6-2: Evolution von SAE Level 1 bis 5⁸⁶

⁸⁵ Kolarova, V. et al.: Projekt „DiVA“ (2020), S. 29.

⁸⁶ Bernhart, W.: Automatisiertes Fahren — Evolution statt Revolution (2015), S. 13.

Darüber hinaus sollte in diesem Zusammenhang der Begriff des *Silent Testing* nicht unerwähnt bleiben. Beim *Silent Testing* handelt es sich um einen Ansatz, der den Prüfling, also eine Funktion des hochautomatisierten Fahrens, in einer Open-Loop-Simulation mit realen Sensordaten im realen Verkehr testet. Dafür wird das Testfahrzeug mit dem Sensoraufbau des Prüflings ausgestattet. In diesem Testansatz hat der Prüfling keinen Einfluss auf das Verhalten des Testfahrzeugs. Die Funktion läuft lediglich im Hintergrund ab.⁸⁷ Tesla wendet bereits diese Methode an, die unter dem Begriff „*shadow mode*“ bekannt ist. Das Unternehmen benutzt keine Testfahrzeuge, sondern Kundenfahrzeuge, um die Autopilot-Software zu testen. Im „*shadow mode*“ überwacht das System die Aktionen des Fahrers und sendet die Informationen an die zentrale Datenbank zur weiteren Entwicklung. Die Idee basiert auf der Vorstellung, dass erfahrene Fahrer in der Lage sind, sofort von gefährlichen Situationen abzuweichen.⁸⁸ Dieses Konzept kann insbesondere dann angewendet werden, wenn ein modulares System vorliegt, da dann die einzelnen Funktionen, wie beim partikulären Testen, relativ unabhängig voneinander betrachtet und demzufolge getestet werden können. Ein letzter wichtiger Aspekt im Bereich des Testens stellt die Verteilung des Aufwands dar. Durch die modulare Gestaltung der Funktionen des vollautomatisierten Fahrens können diese in allen vollautomatisierten Fahrzeugen eingesetzt werden. Demzufolge müssen die Funktionen nur einmal getestet werden und können anschließend in allen Fahrzeugen verwendet werden. Daraus folgt eine Reduktion des Zeitaufwands und der Kosten. Weiterhin können die Funktionen erweitert werden, sodass eine Differenzierung zwischen Massen- und Premiumfahrzeuge möglich wird und eine höhere Anzahl an Kunden angesprochen werden.

Nachdem die Sicherheit der Fahrzeuge anhand von Tests verifiziert und validiert wurde, besteht die Herausforderung des Unternehmens nun darin, die Kunden von der Sicherheit der Fahrzeuge zu überzeugen. Dafür sind die Kommunikationsmaßnahmen zuständig. Eine Vielzahl von Studien zeigen, dass Investitionen in die Kommunikation sich positiv auf die Markenwahrnehmung, das Verhalten von Konsumenten gegenüber einer Marke und auf den Markenwert auswirken.⁸⁹ Die Auslagerung der Module an Lieferanten ermöglicht verkürzte Entwicklungszeiten, da die OEMs nicht die komplette Entwicklung des Fahrzeugs durchführen müssen und somit ausgelastet werden. Weiterhin sind die Lieferanten, die mit der Entwicklung der Module beauftragt werden, Unternehmen, die in den Handlungsfelder dieser Module spezialisiert sind. Diese verkürzten Entwicklungszeiten, die eine Modularisierung bietet, können ausgenutzt werden, um den Schwerpunkt auf die nachgelagerten Wertschöpfungsstufen zu legen, wie zum Beispiel die Kommunikationsmaßnahmen. Solchermaßen kann man sich mehr darauf konzentrieren, dass das Produkt gut präsentiert wird und vor allem, dass die Kunden das Gefühl haben, dass die Systeme sicher sind.

Die Akzeptanz der unterschiedlichen Nutzergruppen hängt dennoch nicht nur von der Sicherheit ab. Dadurch, dass der Mensch in automatisierten Fahrzeugen keine Fahraufgaben mehr übernehmen muss, entstehen für den Menschen neue Möglichkeiten, um die Zeit während der Fahrt zu nutzen.

⁸⁷ Amersbach, C.; Winner, H.: *Functional Decomposition* (2019), S. 18.

⁸⁸ Kiss, G.: *The Danger of Artificial Intelligence* (2019), S. 3.

⁸⁹ Schwarz, J.: *Messung und Steuerung der Kommunikations-Effizienz* (2013), S. 135.

Somit hängt die Akzeptanz ebenfalls von den Erwartungen und Wünschen an die Nutzung der Zeit während der Fahrt. Damit also ein breiterer Teil der Bevölkerung angesprochen wird, müssen die Diversität und die Charakteristiken potenzieller Nutzergruppen berücksichtigt werden. Denn während manche Nutzer die Zeit für Aktivitäten (z.B. zum Arbeiten) benutzen wollen, bevorzugen andere dagegen die Zeit zur Entspannung.⁹⁰ Um diese unterschiedlichen Kundenbedürfnisse zu befriedigen, eignet sich ein modularer Ansatz besonders gut. Wird ein modularer Baukasten für das Interieurdesign mit unterschiedlichen Varianten erstellt, die mit standardisierten Schnittstellen ausgerüstet sind, so können diese mit den restlichen Modulen kombiniert werden, sodass die gewünschte Vielfalt erreicht werden kann.

Zuletzt ermöglicht die Anwendung des modularen Baukastens die in Kapitel 5.1.2 beschriebenen Kostenvorteile. Nämlich die Reduktion von Kosten durch die Nutzung von Skaleneffekten und die Reduktion von Sortenwechselkosten. Dadurch kann der Einkaufspreis verringert werden, sodass die automatisierten Fahrzeuge für den Kunden attraktiver werden.

6.2 Zusammenfassung

Die dargestellten Aspekte haben gezeigt, dass eine verstärkte Modularisierung für die Freigabe automatisierter Fahrzeuge folgende Vorteile mit sich bringt.

- Die Kooperationen der Industriebaukästen können ausgenutzt werden, um vernetzte Dienste zu entwickeln. Die verkürzten Entwicklungszeiten, um mehr Zeit den Kommunikationsmaßnahmen zu widmen. Der Vorteil der Produktvielfalt, um die verschiedenen Kundenbedürfnisse hinsichtlich der Nutzung der Zeit während zu befriedigen. Und die reduzierten Kosten, um einen attraktiveren Einkaufspreis anzubieten.
- Für die große Herausforderung des Testens ergeben sich ebenfalls positive Auswirkungen durch eine modulare Betrachtungsweise.
 - Neue Testkonzepte, wie das partikuläre Testen oder das *Silent Testing*, können angewendet werden.
 - Funktionen aus den unteren Niveaus der Automatisierung, die bereits in der Nutzungsphase gezeigt haben, dass sie sicher sind, können erweitert oder miteinander kombiniert werden, um die höheren Stufen der Automatisierung zu erreichen. Auf diese Art und Weise müssen die Funktionen nicht neu entwickelt und getestet werden.
 - Der Testaufwand kann hinsichtlich Zeit und Kosten reduziert werden, da die Funktionen des vollautomatisierten Fahrens einmal getestet werden und anschließend in allen Fahrzeugen eingesetzt werden können.
 - Die Funktionen können erweitert werden, sodass eine Unterscheidung zwischen Massen- und Premiumfahrzeuge möglich wird.

⁹⁰ Kolarova, V. et al.: Projekt „DiVA“ (2020), S. 43.

7 Änderungen der Marktstrukturen

Der Markt wird in der Volkswirtschaftslehre als das Zusammentreffen zwischen Angebot und Nachfrage definiert. Im Marketing wird dabei vom relevanten Markt gesprochen, der identifiziert, abgegrenzt und beschrieben werden muss. Die Identifizierung des relevanten Marktes ist für ein Unternehmen wichtig, weil damit Strategien für den Umgang mit den restlichen Marktteilnehmern entwickelt werden können. Für die Identifizierung des relevanten Marktes ist u.a. die Untersuchung der Marktstrukturen von großer Bedeutung.^{91a} Dieses Kapitel setzt sich mit einer Analyse hinsichtlich der Änderungen der Marktstrukturen aufgrund einer verstärkten Modularisierung auseinander. Dafür werden zu Beginn die Eigenschaften der Marktstrukturen behandelt. Damit können anschließend die Änderungen der Marktstrukturen untersucht werden.

7.1 Analyse der Marktstrukturen

Für die Analyse der Marktstrukturen spielt insbesondere die Identifikation der Marktteilnehmer eine große Rolle. Dabei differenziert man zwischen den Marktteilnehmern auf Angebots- und Nachfrageseite. Zu den Marktteilnehmern auf Angebotsseite zählen Hersteller von Produkten bzw. Anbieter von Dienstleistungen und Absatzmittler (Groß- und Einzelhandel, Online-Anbieter, Handelsvertreter, usw.). Auf Nachfrageseite unterscheidet man zwischen privaten Konsumenten (Einzelpersonen oder Familien), Wiederverkäufer (Händler), industrielle Abnehmer (Unternehmen) und öffentliche Abnehmer (staatliche Institutionen).^{91b}

In den Marktstrukturen werden die Marktteilnehmer nach folgenden Kriterien aufgeteilt⁹²:

- Zahl und Größe der Marktteilnehmer auf Angebots- und Nachfrageseite
- Verhalten der Marktteilnehmer

Die Zahl, die Größe und das Verhalten der Marktteilnehmer werden in der Analyse zusammen betrachtet, da diese eng miteinander verflochten sind.

Eine weitere Eigenschaft, die die Marktstrukturen prägt, ist:

- Der Vollkommenheitsgrad⁹²

Neben diesen klassischen Eigenschaften werden ebenfalls unterschiedliche Marktabgrenzungen betrachtet, die von einer verstärkten Modularisierung betroffen sind.^{91c}

- Produktartbezogene Marktabgrenzung in Konsumgüter- und Dienstleistungsmarkt
- Kundenbezogene Marktabgrenzung
- Bedürfnisorientierte bzw. kundennutzenbezogene Marktabgrenzung

⁹¹ Bruhn, M.: Marketingübungen (2004), a: S. 18, b: S. 19, c: S. 20.

⁹² Graf, G.: Grundlagen der Volkswirtschaftslehre (2002), S. 67f.

Die genannten Eigenschaften und Aufteilungen werden im weiteren Verlauf detaillierter erklärt und auf Veränderungen aufgrund einer verstärkten Modularisierung untersucht.

7.1.1 Zahl, Größe und Verhalten der Marktteilnehmer

Aus der Betrachtung der Teilnehmerzahl und -größe ergeben sich die Marktformen des Monopols, Oligopols und der vollständigen Konkurrenz. Dabei ist nicht die absolute Teilnehmerzahl und -größe entscheidend, sondern die Anzahl und Größe gemessen am Marktanteil. Aufgrund der Einteilung der Marktteilnehmer in „viele“, „wenige“ und „einen“ Marktteilnehmer jeweils auf Angebots- und Nachfrageseite, ergibt sich das in Tabelle 7-1 dargestellte Marktformen-Grundschemata, das im Folgenden detailliert erläutert wird.⁹²

Tabelle 7-1: Marktformen-Grundschemata (in Anlehnung an Graf, G. Hrsg.: Grundlagen der Volkswirtschaftslehre (2002), S. 68)

		Nachfrager		
		Viele	Wenige	Einer
Anbieter	Viele	Vollständige Konkurrenz (Polypol)	Nachfrage-Oligopol	Nachfrage-Monopol
	Wenige	Angebots-Oligopol	Zweiseitiges Oligopol	Beschränktes Nachfrage-Monopol
	Einer	Angebots-Monopol	Beschränktes Angebots-Monopol	Zweiseitiges Monopol

In dem Fall, dass viele Anbieter mit vielen Nachfragern zusammentreffen, liegt eine vollständige Konkurrenz oder Polypol vor. Dies ist beispielsweise der Fall bei großen Wochenmärkten oder Börsen. Ein Angebots-Oligopol bildet sich bei wenigen Anbietern und vielen Nachfragern. Charakteristisch hierfür sind Automobilmärkte, da es im Vergleich zur hohen Anzahl an Käufern (Nachfragern) wenige Automobilhersteller gibt (Anbieter). Trifft ein Anbieter auf viele Nachfrager, so kommt es zu einem Angebots-Monopol. Früher galt der Fernverkehr als Angebots-Monopol, da die Deutsche Bahn der einzige Anbieter war bevor Flixbahn oder EuroNight in den Markt für Fernverkehr eingetreten sind. Die Marktform Nachfrage-Oligopol besteht aus vielen Anbietern und wenigen Nachfragern. Dazu gehört das Verhältnis zwischen den großen Lebensmittel-Filialbetrieben, wie Rewe oder Aldi (wenige Nachfrager), und der Vielzahl der Anbieter von Lebensmitteln (viele Anbieter). Aus vielen Anbietern und einem Nachfrager ergibt sich ein Nachfrage-Monopol. Dieser Fall ist in der Realität kaum vorstellbar und kommt nur dort vor, wo der Staat durch staatliche Zugangskontrollen oder staatlichen Zwang den Eintritt von mehr Nachfragern verhindert und sich somit seine Position als einzigen Nachfrager sichert. Ein zweiseitiges Oligopol kommt bei wenigen Marktteilnehmern sowohl auf Angebots- als auch auf Nachfrageseite vor und ist der Fall bei der Beziehung zwischen den Automobilherstellern und Zulieferern. Das Gegenstück zum zweiseitigen Oligopol, also ein zweiseitiges Monopol, besteht bei einem Anbieter und einem Nachfrager. Ein Beispiel hierfür sind

Vertragsverhandlungen zwischen Arbeitgebern und Arbeitnehmern. Und zuletzt werden Märkte mit wenigen Teilnehmern auf einer Marktseite und einem Teilnehmer auf der anderen Seite als beschränktes Angebots-Monopol bzw. beschränktes Nachfrage-Monopol bezeichnet. Ein beschränktes Nachfrage-Monopol entsteht beispielsweise in der Beziehung zwischen dem Staat (ein Nachfrager) und militärischen Geräten (wenige Anbieter). Ein Beispiel für ein beschränktes Angebots-Monopol ist ein Ingenieur (ein Anbieter), der ein Patent entwickelt hat, für das sich nur wenige Großunternehmen (wenige Nachfrager) interessieren.⁹³

Darüber hinaus kann von der Marktform auf die Marktmacht eines Marktteilnehmers zurückgeschlossen werden. Die Marktmacht wird definiert als „die Möglichkeit eines Marktteilnehmers, sich beim Auftreten auf dem Markt ausschließlich an den eigenen ökonomischen Zielen und Gegebenheiten orientieren zu können“.⁹³ Hat ein Marktteilnehmer also eine große Marktmacht, so kann sich dieser strategisch verhalten. D.h. er kann die für ihn entscheidungsrelevanten Marktgrößen, wie zum Beispiel den Preis, beeinflussen. Im Gegensatz dazu kann der Marktteilnehmer bei einer anpassenden Verhaltensstrategie keinen Einfluss auf die Marktgrößen nehmen und muss sich daher an die am Markt vorliegenden Marktgrößen anpassen.⁹⁴ Stellt man die Zusammenhänge zwischen Verhalten und Marktformen her, so ergeben sich folgende optimale und schlechteste Fälle. Für einen Anbieter ist das Angebots-Monopol der Idealfall, da dieser als einziger Anbieter den Preis und die Menge auf dem Markt bestimmen kann. Der schlimmste Fall stellt dagegen das Polypol oder das Nachfrage-Monopol aufgrund der hohen Konkurrenz, die zwischen den vielen Anbietern herrscht, dar. Aus der Perspektive des Nachfragers ist das Nachfrage-Monopol die beste Möglichkeit, da er in diesem Fall durch die nachgefragte Menge den Preis festlegen kann. Neben dem Polypol benachteiligt auch das Angebots-Monopol den Nachfrager wegen der hohen Anzahl an Nachfragen, die zu einer hohen Konkurrenz führen.

Im spezifischen Fall einer Hersteller-Lieferanten-Beziehung, die in der Automobilindustrie eine bedeutende Rolle spielt, kann der Besteller außerdem seinen Handlungsspielraum erhöhen, wenn

1. die Bestellmenge größer ist,
2. der Wert des bestellten Produktes höher ist,
3. standardisierte Produkte bestellt werden,
4. ein neuartiges Produkt bestellt wird,
5. die Marktmacht des Bestellers größer ist.⁹⁵

An der Stelle ist anzumerken, dass nicht alle Punkte erfüllt werden müssen, damit der Handlungsspielraum des Bestellers größer ist.

⁹³ Graf, G.: Grundlagen der Volkswirtschaftslehre (2002), S. 68f.

⁹⁴ Lachmann, W.: Preisbildung und Marktformen (1993), S. 67.

⁹⁵ Thommen, J.-P. et al.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre (2017), S. 149.

Anhand der ausgeführten Grundlagen wird nun zur Analyse hinsichtlich der Marktformen übergegangen.

Für die OEMs ergibt sich bezüglich der Marktformen zwei Perspektiven. Einerseits ist der Absatzmarkt, also der Markt für die Beziehung zwischen Automobilherstellern und deren Kunden, von Bedeutung. Dieser stellt, wie oben beschrieben, ein Angebots-Oligopol dar. In der Hinsicht ergeben sich durch die verstärkte Modularisierung keine Änderungen, da sich das Verhältnis zwischen den OEMs und den Kunden bezüglich Anzahl und Größe nicht drastisch verändert. Trotzdem kann die Aussage getroffen werden, dass sich aus der verstärkten Modularisierung ein intensiveres Angebots-Oligopol ergibt. Dies liegt darin begründet, dass die Strategie des modularen Baukastens zu erhöhten Kosteneinsparungen führt, wodurch sich die OEMs strategisch verhalten und den Marktpreis niedriger legen. Demzufolge entsteht ein höherer Kostendruck, der zu einem Zusammenschluss von Marken und Technologien führt, um Effizienzpotenziale auszunutzen. Daraus ergeben sich größere Konzerne und weniger unabhängige Automobilhersteller. In Deutschland existieren beispielsweise nur noch 3 unabhängige Automobilhersteller: BMW, Mercedes und VW.^{96a} Andererseits spielt ebenfalls der Beschaffungsmarkt, d.h. der Markt, in dem OEMs und Lieferanten zusammenkommen, eine wichtige Rolle. Im Gegensatz zum Absatzmarkt finden hier Änderungen aufgrund einer verstärkten Modularisierung statt. Grund dafür sind die Zusammenschlüsse unterschiedlicher Zulieferer. Denn die Modularisierung erfordert hohe Entwicklungs-, Produktions- und Koordinationskompetenzen von den Lieferanten, sodass diese eine Mindestgröße haben müssen, um die Anforderungen zu erfüllen. In der Automobilindustrie sind die Zulieferer jedoch größtenteils kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Aus diesem Grund stellen Fusionen und Übernahmen von Lieferanten eine gute Möglichkeit dar, um die nötigen Kompetenzen zu erwerben und auszubauen. Somit entstehen aus vielen kleinen Lieferantenunternehmen wenige große Lieferantenkonzerne, sodass sich die Marktform des Beschaffungsmarktes von einem Nachfrage-Oligopol zu einem zweiseitigen Oligopol ändert.^{96b} Diese Änderung hat einen positiven Einfluss auf die Zulieferer. Denn bei einem Nachfrage-Oligopol ist die Marktmacht des OEMs größer als die des Lieferanten, da der Automobilhersteller zwischen den Zulieferern eine große Auswahl hat und somit den Lieferanten wechseln kann, falls dieser zu hohe Preise setzt oder die Leistungen nicht wie gewünscht ausführt. Zudem verringert der OEM aufgrund der Modularisierung die Anzahl der Lieferanten, da dieser komplette Module auslagert (s. S. 30). Dies verstärkt weiterhin die Marktmacht der OEMs, denn dadurch braucht der Automobilhersteller nicht so viele Zulieferer, wie in dem Fall, dass dieser einzelne Komponenten von den Lieferanten beschaffen würde. Durch die Änderung zu einem zweiseitigen Oligopol verbessert sich die Marktmacht des Zulieferers, weil der Automobilhersteller dadurch eine geringere Auswahl an Lieferanten hat. Obwohl der OEM und der Zulieferer in einem zweiseitigen Oligopol bezüglich der Marktmacht gleichgestellt sind, erhöht sich der Handlungsspielraum des Automobilherstellers durch eine verstärkte Modularisierung. Denn durch den Einsatz von gleichen Modulen in mehreren Fahrzeugtypen und Baureihen, muss der OEM eine höhere Anzahl an Modulen bestellen, sodass sich eine größere Beschaffungsmenge ergibt. Außerdem ist der Wert der bestellten Module aufgrund der Modularisierung höher als

⁹⁶ Jaroschinsky, A.: Deutsche Automobilindustrie (2018), a: S. 21f., b: S. 22f.

zuvor, da keine einzelnen Komponenten mehr bestellt werden, sondern komplette Module, die aus vielen Komponenten zusammengebaut sind.

Ein letzter Aspekt bleibt in diesem Zusammenhang offen, und zwar welche Änderungen sich durch eine Auslagerung aller Module zusammen mit dem modularen Testen ergeben. In Kapitel 3.2 wurde festgestellt, dass der OEM bei einer modularen Strategie, den Großteil der Module an die Lieferanten auslagert, sodass er sich auf die eigenen Kernkompetenzen konzentrieren kann, nämlich auf die Entwicklung markenprägender Module und Dienstleistungen im Bereich des *Service Excellence* (Finanzierungsdienstleistungen, Navigations- und Unterhaltungsdienste; s. S. 49). Wird die Auslagerung der Module weiter verstärkt, sodass der OEM keine Leistungen mehr in der Entwicklung der Fahrzeuge durchführt, so kann dies dazu führen, dass die Automobilhersteller nicht mehr nötig sind. Denn durch das modulare Testen, können die einzelnen Module unabhängig voneinander getestet werden, sodass das Gesamtfahrzeug nicht mehr als Ganzes getestet werden muss (vorausgesetzt, die Schnittstellen zwischen den Modulen müssen nicht mehr getestet werden). Somit könnte der Käufer des Fahrzeugs die einzelnen Module selbst bestellen und anschließend selbst zusammenbauen. Demzufolge würden die Lieferanten direkt mit dem Käufer in Kontakt treten (normalerweise findet der Kontakt zwischen Lieferanten und Käufer des Fahrzeugs indirekt über den OEM statt, da der letztere die Module bestellt und diese dann zusammenbaut).

7.1.2 Vollkommenheitsgrad

Ein Markt ist vollkommen, wenn folgende Faktoren gegeben sind:^{97a}

1. Viele Nachfrager und Anbieter. Somit muss in einem vollkommenen Markt ein Polypol vorliegen.
2. Rationales Handeln aller Marktteilnehmer. Dies bedeutet, dass die Käufer nutzenmaximierend und die Unternehmen gewinnmaximierend handeln. Dabei haben diese keine räumlichen, zeitlichen und persönlichen Präferenzen. Räumliche Präferenzen sind beispielsweise Standortvorteile bestimmter Unternehmen. Die Annahme der nicht vorliegenden zeitlichen Präferenzen, bedeutet, dass jede Ware sofort geliefert und vom Kunden angenommen wird. Persönliche Präferenzen werden durch den Einfluss der Werbung auf das Konsumverhalten dargestellt.
3. Völlige Markttransparenz. Eine völlige Markttransparenz ist nötig, damit die Marktteilnehmer rational handeln können. Diese müssen eine vollständige Kenntnis über die Preise haben, sodass die Nachfrager das günstigste Angebot annehmen können.
4. Homogenität aller Güter. Alle gehandelten Güter im Markt müssen homogen sein, d.h. sie müssen hinsichtlich Qualität, Optik oder Verpackung gleich sein. Dies ist beispielsweise der Fall bei Rohöl.

⁹⁷ Thommen, J.-P. et al.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre (2017), a: S. 105, b: S. 5.

-
5. Unendlich schnelle Reaktionszeit. Dies bedeutet, dass alle Marktteilnehmer sofort auf Änderungen am Markt reagieren können, sodass räumliche und zeitliche Unterschiede wegfallen.

In der Realität liegen stets unvollkommene Märkte vor, da ein Markt, der alle 5 Kriterien erfüllt, in der Praxis nicht umsetzbar ist. Somit ergeben sich durch eine verstärkte Modularisierung keine Änderungen. Aus diesem Grund wird der Vollkommenheitsgrad nicht weiter behandelt.

7.1.3 Produktartbezogene Marktabgrenzung

Produkte können grundsätzlich in die Kategorien der materiellen Güter und immateriellen Güter aufgeteilt werden. Zu den immateriellen Gütern gehören Dienstleistungen und Rechte (z.B. Patente). Innerhalb der Kategorie der materiellen Güter kann zwischen Produktions- und Konsumgüter unterschieden werden. Während Konsumgüter ausschließlich Outputgüter sind, die direkt dem Konsum dienen (z.B. Schuhe, Handys), stellen Produktionsgüter Outputgüter und gleichzeitig Inputgüter für nachgelagerte Produktionsprozesse dar, aus denen schließlich wieder Konsumgüter entstehen. Beispiele für Produktionsgüter sind Werkzeuge oder Maschinen.^{97b}

Aufgrund der Materialität und der Nutzung durch Endverbraucher gehört der Automobilmarkt zum Konsumgütermarkt. Jedoch lagern die OEMs bei einer modularen Strategie immer mehr Wertschöpfungsaktivitäten an die First-Tier-Lieferanten aus, damit sich die Automobilhersteller auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren können (s. Aufgabenverteilung zwischen den OEMs und den Zulieferern). Zu den Kernkompetenzen zählen neben der Entwicklung und Produktion markenprägender Module (wie z.B. des Motors) insbesondere Leistungen im Bereich der *Service Excellence* (Finanzierungsdienstleistungen, Navigations- und Unterhaltungsdienste; s. S. 49). Da diese Leistungen zu den Dienstleistungen gehören, tritt der Automobilhersteller somit ebenfalls in den Dienstleistungsmarkt ein. Eine verstärkte Modularisierung könnte dazu führen, dass der OEM alle Wertschöpfungsaktivitäten von der Forschung und Entwicklung bis zur Montage der Fahrzeuge vollständig an die First-Tier-Lieferanten weitergibt und sich folglich ausschließlich mit Dienstleistungen auseinandersetzt, die für den Erhalt, die Verbesserung und die Schaffung von Kundenbeziehungen von Bedeutung sind, wie beispielsweise gute Finanzierungsbedingungen. Dadurch dringt der Automobilhersteller vermehrt in den Dienstleistungsmarkt ein.

7.1.4 Kundenbezogene Marktabgrenzung

Der kundenbezogenen Marktabgrenzung werden Merkmale der Nachfrager, wie z.B. das Alter (Seniorenmarkt), das Einkommen (Exklusivmarkt) oder die Bedeutung des Kunden (Großkundenmarkt⁹⁸, Firmenkundenmarkt) zugeordnet.⁹⁹ Wichtig für die Analyse ist das Merkmal des Einkommens, da sich in diesem Bereich Änderungen aufgrund einer verstärkten Modularisierung ergeben.

In der Automobilbranche wird hinsichtlich des Einkommens zwischen dem Premium- und Massenmarkt unterschieden. Die modulare Gestaltung der Fahrzeugarchitekturen begünstigt eine

⁹⁸ Geschäftspartner, der in besonders hohem Maß Waren und/oder Dienstleistungen bezieht.

⁹⁹ Bruhn, M.: Marketingübungen (2004), S. 20.

Erweiterung von bestimmten Funktionen (zum Beispiel kann der Motor so erweitert werden, dass das Fahrzeug schneller fahren kann), sodass eine eindeutige Unterscheidung zwischen Premium- und Massenfahrzeuge möglich wird. Trotzdem hat die Anwendung eines modularen Baukastens zu einer Näherung des Premiummarktes an den Massenmarkt geführt. Aus welchen Gründen dies passiert ist, wird nun genauer erklärt. Tabelle A.1. 1¹⁰⁰ zeigt, dass die Premiummarken (Audi, Mercedes-Benz) im Gegensatz zu den Massenmarken eine starke Modelloffensive gestartet und durchgeführt haben. Während beispielsweise Opel von 1976 bis 2016 die Anzahl der Fahrzeugreihen lediglich von 8 auf 20 erhöht hat, hat es Mercedes-Benz geschafft, ihre Anzahl von 5 auf 33 zu erhöhen und Audi sogar von 3 auf 78. Gleichzeitig sind die Premiummarken günstiger geworden. Beispielsweise war 2016 ein BMW 220i Active Tourer kaum teurer als ein VW Touran und ein Audi A3 kaum teurer als ein VW Golf. Die große Modellvielfalt bei einer gleichzeitigen Reduktion der Preise deutet darauf hin, dass das Prinzip eines modularen Baukastens eingesetzt wurde. Obwohl die größere Modellvielfalt Vorteile mit sich bringt, wie zum Beispiel die Streuung des Risikos eines erfolglosen Modells auf mehrere Fahrzeugreihen, ist die Exklusivität der Premiummarke gefährdet. Dies liegt darin begründet, dass sich durch die Preissenkung mehr Leute die Fahrzeuge leisten können. Der Verlust des Premiumwertes resultiert in einer Näherung des Premiummarktes an den Massenmarkt.¹⁰¹

7.1.5 Bedürfnisorientierte bzw. kundennutzenbezogene Marktabgrenzung

Diese Marktabgrenzung wird durch die Funktionen bzw. Bedürfnisse, die die Produkte für den Kunden erfüllen, geprägt. Beispiele hierfür sind der Unterhaltungsmarkt oder der Gesundheitsmarkt.⁹⁹ Die Automobilindustrie gehört prinzipiell zum Mobilitätsmarkt, der alle Anbieter und Nachfrager umfasst, die eine Verfügungsmacht über Mobilitätstechnologien besitzen (zu Fuß gehen, Fahrrad, Automobil, Flugzeug, Bahn, Bus, usw.). Wie auch schon in 7.1.3 beschrieben wurde, haben die OEMs durch eine Modularisierung die Möglichkeit, sich auf die Kernkompetenzen zu konzentrieren. Dazu zählen vermehrt Leistungen im Bereich der *Service Excellence*, wie zum Beispiel, Finanzierungsdienstleistungen sowie die Entwicklung und Verbesserung von Softwares, um Navigations-, Unterhaltungs- und Informationsdienste anzubieten. Somit dringen die Automobilhersteller auch in andere bedürfnisorientierte Märkte ein, u.a., in Finanzierungs-, Unterhaltungs- und Informationsmärkte. Dies führt dazu, dass die Konkurrenz in den neuen Bereichen, in denen der OEM tätig wird, steigt. Die Automobilhersteller bieten natürlich in den neuen Bereichen der *Service Excellence* nicht eine derart hohe Vielfalt, wie andere Unternehmen, die in den jeweiligen Bereichen spezialisiert sind, sondern bieten diese Leistungen immer im Zusammenhang mit den Fahrzeugen an. Als Beispiel lassen sich die Banken nennen, die Kredite für unterschiedliche Zwecke anbieten (Kredite für Immobilien, für Fahrzeuge, Möbel, usw.). Im Gegensatz dazu bieten die Automobilhersteller lediglich Kredite oder Finanzierungsdienstleistungen im Bereich der Fahrzeuge. Aus diesem Grund steigt die Konkurrenz nur teilweise für die Banken, da diese viele andere Leistungen außerhalb der Automobilbranche umfassen.

¹⁰⁰ S. Anhang A.1

¹⁰¹ Parment, A.: Die Automobilindustrie – eine Charakterisierung (2016), S. 57f.

7.2 Zusammenfassung

Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse zu den Änderungen der Marktstrukturen kurz zusammengefasst. Eine verstärkte Modularisierung führt

- im Absatzmarkt (d.h. in der Beziehung zwischen OEM und Endkunde) aufgrund des erhöhten Kostendrucks und die sich daraus ergebenden Zusammenschlüsse von Automobilherstellern zu einem verstärkten Angebots-Oligopol.^{102a}
- im Beschaffungsmarkt (d.h. in der Beziehung zwischen OEM und Lieferanten) zu einer Umwandlung von einem Nachfrage-Oligopol zu einem zweiseitigen Oligopol. Dadurch sind beide Marktpartner hinsichtlich der Marktmacht gleichgestellt. Trotzdem hat der Automobilhersteller einen größeren Handlungsspielraum, da die Menge und der Wert der Bestellungen höher sind.^{102b}
- zusammen mit dem modularen Testen dazu, dass OEMs nicht mehr nötig sind. Der Käufer des Fahrzeugs kann die einzelnen Module selbst bestellen und anschließend selbst zusammenbauen.
- aufgrund der Konzentration auf Kernkompetenzen wie die der *Service Excellence* zu einem erhöhten Eintritt des Automobilherstellers in den Dienstleistungsmarkt.
- durch die starke Modelloffensive und gleichzeitige Kostensenkung zu einer Näherung des Premiummarktes an den Massenmarkt.¹⁰¹
- bezüglich der kundenorientierten Marktabgrenzung zum Eintritt der OEMs in weitere Märkte, wie zum Beispiel dem Finanzierungs-, Unterhaltungs- oder Informationsmarkt.

¹⁰² Jaroschinsky, A.: Deutsche Automobilindustrie (2018), a: S. 21f, b: S. 22f.

8 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Thesis hatte hinsichtlich der Modularisierung mehrere Ziele, die auf die Potenzialanalyse der Modularisierung zur Freigabe automatisierter Fahrzeuge gezielt haben. Ob und in welchem Umfang die verfolgten Ziele erreicht wurden, wird in diesem Kapitel behandelt. Weiterhin wird ebenfalls ein Ausblick über noch zu untersuchende Aspekte für zukünftige Arbeiten gegeben.

8.1 Fazit

Ausgangspunkt der Thesis war die Problematik des Testens automatisierter Fahrzeuge. Bestehende Testkonzepte für die Freigabe von Fahrerassistenzsystemen können aufgrund ökonomischer und zeitlicher Schwierigkeiten (Freigabefälle, Parameterraumexplosion) nicht ohne Anpassung zum Testen automatisierter Fahrzeuge benutzt werden. Aus diesem Grund wurde zur Entwicklung automatisierter Fahrzeuge im Projekt UNICARagil ein modularer Ansatz gewählt, der das partikuläre Testen ermöglicht. Dabei wird das Gesamtfahrzeug in funktional und physisch relativ unabhängige Subsysteme (Module) unterteilt, sodass diese getrennt voneinander getestet werden können. Denn aufgrund dieser Unabhängigkeit arbeitet die Funktion eines Moduls relativ unabhängig von der Funktion der anderen Module, solange die anderen Module die Anforderungen erfüllen, die an sie gestellt werden.

Die Analysen dieser Thesis haben gezeigt, dass die Modularisierung nicht nur Auswirkungen auf die Architektur und technischen Eigenschaften der Fahrzeuge hat. Es ergeben sich nämlich auch wichtige Veränderungen in der Aufgabenverteilung zwischen den Automobilherstellern und den Zulieferern. Während sich die OEMs nun auf die Entwicklung und Produktion markenprägender Module (z.B. den Motor) konzentrieren, sind die Lieferanten mit für sie neuen Aufgaben konfrontiert. Diese müssen sich mit der Entwicklung und Produktion der nicht-markenprägenden Module auseinandersetzen, was vor der Modularisierung zu den Aufgaben der Automobilhersteller gehört hat. Dies führt zu einem hohen Grad an Kollaboration und Informationsaustausch zwischen den OEMs und den Zulieferern als auch zwischen den Lieferanten unter sich, da sichergestellt werden muss, dass die unterschiedlichen Module auch zusammen interagieren können. Für die Entwicklung der Fahrzeuge ergeben sich außerdem kürzere Entwicklungszeiten, die in einer schnelleren Vermarktung und einer schnelleren Reaktion auf Marktänderungen resultiert.

Dieser hohe Grad an Informationsaustausch kann aber auch zu Schwierigkeiten führen, wenn es um vertrauliche Informationen geht, wie z.B. bei Einflussgrößen. Solche vertraulichen Daten werden nämlich nur teilweise preisgegeben und auch nur dann, wenn ein bestimmtes Vertrauen zwischen den Lieferanten besteht. Dies stellt vor allem ein großes Problem für die Tests dar, da ohne die Werte der Einflussgrößen die Module nicht getestet werden können. Weitere Schwierigkeiten treten auf, wenn ein Modul in mehreren Fahrzeugtypen eingesetzt wurde und einen Fehler aufweist, der beim Testen nicht aufgedeckt wurde. Daraus ergeben sich rechtliche Folgen, die in einem hohen wirtschaftlichen Schaden für den Automobilhersteller enden können.

Bezüglich der Potenzialanalyse zur Freigabe automatisierter Fahrzeuge konnten ebenfalls wichtige Erkenntnisse erlangt werden. Um die Herausforderung der Sicherheit zu bewältigen, erweist sich eine

verstärkte Modularisierung als vorteilhaft. Neben dem partikulären Testen spielt nämlich das *Silent Testing* eine wichtige Rolle. In diesem Testansatz wird eine Funktion des automatisierten Fahrens mit realen Sensordaten im realen Verkehr getestet, ohne dass diese das Verhalten des Fahrers beeinflusst. Die Funktion läuft lediglich im Hintergrund ab. Je modularer die Architektur des Fahrzeugs gestaltet ist, desto besser kann dieses Testkonzept angewendet werden. Darüber hinaus können unterschiedliche Funktionen aus den unteren Stufen der Automatisierung so kombiniert werden, dass die höheren Stufen der Automatisierung erreicht werden. Somit müssen diese Funktionen nicht neu entwickelt und getestet werden. Weiterhin wird der Testaufwand bezüglich der Kosten und der Zeit reduziert, da die Funktionen einmal getestet werden und anschließend in allen Fahrzeugen eingesetzt werden können. Die Funktionen können zudem erweitert werden, sodass eine Unterscheidung zwischen Massen- und Premiumfahrzeuge möglich wird.

Eine letzte Analyse im Bereich der Marktstrukturen hat gezeigt, dass sich auch in diesem Bereich die Auswirkungen einer Modularisierung spüren lassen. Es wurde festgestellt, dass sich insbesondere für die Lieferanten Änderungen ergeben. Durch den hohen Kostendruck, der durch eine verstärkte Modularisierung entsteht, sind die Zulieferer dazu gezwungen, Zusammenschlüsse einzugehen. Daraus ergibt sich in der Beziehung zwischen dem OEM und dem Lieferanten ein Wechsel von einem Nachfrage-Oligopol zu einem zweiseitigen Oligopol. Demzufolge verbessert sich die Marktmacht der Lieferanten, da der OEM nun eine geringere Auswahl zur Verfügung hat. Zudem führt die Auslagerung der Module an die Lieferanten zusammen mit der modularen Absicherung dazu, dass die Fahrzeuge von den Kunden zusammengebaut werden können und die OEMs demzufolge nicht mehr nötig sind. Und zuletzt tritt der OEM durch die Konzentration auf Kernkompetenzen, wie zum Beispiel *Service Excellence*, vermehrt in Dienstleistungsmärkte ein.

8.2 Ausblick

Ausgehend von den in dieser Thesis vorgestellten Ergebnisse gilt es für zukünftige Arbeiten, folgende offene Fragen zu adressieren.

Die Ergebnisse im Kapitel zu den Grenzen der Modularisierung haben gezeigt, dass Schwierigkeiten beim Einsatz der Modularisierung durchaus auftreten können. In diesem Bereich ergibt sich aus diesem Grund die Möglichkeit, nach einem Ansatz zu suchen, der die genannten Probleme minimiert. Insbesondere die Problematik des Informationsaustausches zwischen den Lieferanten stellt in der Modularisierung einen wichtigen Aspekt dar, für den nach einem neuen Ansatz gesucht werden kann. In diesem Zusammenhang wurde bereits ein Beispiel genannt. Nämlich die Anwendung eines System of Systems auf Modulebene, sodass ein Informationsaustausch kaum nötig ist oder erheblich minimiert werden kann. In der Hinsicht besteht viel Raum, um die Tauglichkeit dieser Methodik in der Realität zu untersuchen. Auch weitere Abwandlungen der Modularisierung, die die dargestellten Probleme zumindest minimiert, erweisen sich für zukünftige Arbeiten als wichtig.

Auch die Auswirkungen einer verstärkten Modularisierung auf die Einführung automatisierter Fahrzeuge weisen noch offene Fragen auf. Hier wurde als Vorteil der verstärkten Modularisierung die Möglichkeit genannt, mehrere Funktionen aus den unteren Automatisierungsstufen so zu

kombinieren, dass sich die Funktionen der höheren Automatisierungsstufen ergeben. Diesbezüglich ergibt sich die Notwendigkeit, die Anwendbarkeit des Ansatzes zu untersuchen und die Vorteile gegenüber bestehenden Methoden zu ermitteln.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die formulierten Ziele dieser Thesis erfüllt wurden. Es konnte gezeigt werden, dass die Modularisierung wichtige Auswirkungen sowohl auf die Aufgabenverteilung zwischen den Automobilherstellern und den Zulieferern hat als auch auf die Entwicklung und Vermarktung der Module und Fahrzeuge. Außerdem wurde gezeigt, dass im Gegenteil zu den vielen Vorteilen der Modularisierung auch Grenzen auftreten können. Darüber hinaus konnten einige Potenziale der verstärkten Modularisierung für die Einführung automatisierter Fahrzeuge ermittelt werden. Sofern sich die Anwendbarkeit der ermittelten Ansätze bestätigt, können diese in der Realität umgesetzt werden und somit einen Beitrag zur sicheren Einführung automatisierter Fahrzeuge leisten. Und zuletzt konnte auch dargestellt werden, inwiefern sich die Marktstrukturen durch eine verstärkte Modularisierung ändern.

Anhang

Anhang A.1: Tabellen

Tabelle A.1. 1: Vergleich der Anzahl an Fahrzeugreihen und Fahrzeugtypen zwischen den Jahren 1976 und 2021

		Automobilhersteller			
		Opel	Renault	Audi	Mercedes-Benz
Jahr	1976 ¹⁰³	Chevette, Kadett, Ascona, Manta, Rekord, Commodore, Admiral, Diplomat = 8	4, 5, 7, 12, 14, 15, 16, 17, 20, 30, Alpine = 11	(damals keine Premiummarke) 50, 80, 100 = 3	E-Klasse, S-Klasse, SL, SLC, 600 = 5
	2021	Ampera-e, Astra 5-Türer, Astra Sports Tourer, Combo-Life, Corsa, Corsae, Crossland, Grandland-X, Grandland-X hybrid, Insignia Grand Sport, Insignia Sports Tourer, Mokka, Mokka-e, Zafira Life, Zafira-e Life, Vivaro, Vivaro-e	ZOE, Twingo, Twingo Electric, Clio V, Clio Hybrid, Captur Plug-in Hybrid, Megane, Megane Grandtour Plug-in Hybrid, Megane R.S., Kadjar, Scenic, Grand Scenic, Talisman, Talisman Grandtour, Koleos, Espace, Trafic,	Audi e-tron, Audi e-tron Sportback, Audi e-tron S, Audi e-tron S Sportback, A1 Sportback, A1 Sportback, A3 Sportback, A3 Sportback TFSI e, A3 Sportback g-tron, A3 Limousine, A3 Cabriolet, S3 Sportback, S3 Limousine, RS3 Sportback, RS3 Limousine,	A-Klasse Kompakt-Limousine, A-Klasse Limousine, B-Klasse Sports Tourer, C-Klasse T-Modell, C-Klasse Limousine, C-Klasse Coupé, C-Klasse Cabriolet, E-Klasse T-Modell, E-Klasse T-Modell All-Terrain, E-Klasse Limousine

¹⁰³ Parment, A.: Die Automobilindustrie – eine Charakterisierung (2016), S. 58f.

(Fortsetzung von Tabelle A.1. 1)

		Automobilhersteller			
		Opel	Renault	Audi	Mercedes-Benz
Jahr	2021	Combo Cargo, Mo- vano ¹⁰⁴ = 20	Trafic Combi, Twizy, Kangoo Z.E., Kangoo Rapid, Master Z.E., Master Kastenwagen, Alaskan ¹⁰⁵ = 26	Sportback g- tron, A5 Cab- riolet, S5 Coupé TDI, S5 Sportback TDi, S5 Cab- riolet TFSI, RS5 Coupé, RS5 Sport- back, A6 Limousine, A6 Limousine TFSI e, A6 Avant, A6 Avant TFSI e, A6 alroad quattro, S6 Limousine TDI, S6 Avant TDI, RS6 Avant, A7 Sportback, A7 Sportback TFSI e, S7 Sportback TDI, RS7 Sportback, A8 A8 L, A8 TFSI e, A8 L TFSI e, S8 TFSI, Q2, SQ2 TFSI, Q3	UV, GLC SUV, GLC Coupé, GLE SUV, GLE Coupé, GLS SUV, Mer- cedes-May- bach GLS, Mercedes AMG GT Roadster, EQV, V- Klasse Großraumlim- ousine ¹⁰⁶ = 33

¹⁰⁴ Die Opel Modellpalette Die Opel Modellpalette.

¹⁰⁵ Die Renault Modellpalette Die Renault Modellpalette.

¹⁰⁶ Die Mercedes-Benz Modellpalette Die Mercedes-Benz Modellpalette.

(Fortsetzung von Tabelle A.1. 1)

Automobilhersteller					
		Opel	Renault	Audi	Mercedes-Benz
Jahr	2021			Q3 TFSI e, Q3 Sportback, Q3 Sportback TFSI e, RS Q3, RS Q3 Sportback, Q5 Q5 TFSI e 2020, Q5 Sportback, SQ5 TDI, SQ5 Sport- back, Q7, Q7 TFSI e, SQ7 TFSI, Q8, Q8 TFSI e, SQ8 TFSI, RS Q8, TT Coupé, TT Roadster, TTS Coupe TFSI, TTS Roadster TFSI, TT RS Coupé, TT RS Roadster, R8 Coupé V10 RWD, R8 Coupé V10, R8 Coupé V10 performance, R8 Spyder V10 RWD, R8 Spyder V10	

(Fortsetzung von Tabelle A.1. 1)

Automobilhersteller					
		Opel	Renault	Audi	Mercedes-Benz
Jahr	2021			R8 Spyder V10 performance ¹⁰⁷ = 78	
Zunahme in %		187	236	2600	660

¹⁰⁷ Die Audi Modellpalette Die Audi Modellpalette.

Literaturverzeichnis

Amersbach, C.; Winner, H.: Functional Decomposition (2019)

Amersbach, Christian; Winner, Hermann: Functional decomposition—A contribution to overcome the parameter space explosion during validation of highly automated driving, in: Traffic Injury Prevention (supl), Jahrgang 20, S. 52–57, 2019

Baumann, G.: Was verstehen wir unter Test? (2006)

Baumann, Gerd: Was verstehen wir unter Test? Abstraktionsebenen, Begriffe und Definitionen; Stuttgart, 2006

Bernhart, W.: Automatisiertes Fahren — Evolution statt Revolution (2015)

Bernhart, Wolfgang: Automatisiertes Fahren — Evolution statt Revolution, in: ATZ Extra - Automobiltechnische Zeitschrift Extra (S7), Jahrgang 20, S. 12–17, 2015

Bondavalli, A. et al.: System-of-Systems to Support Mobile Safety (2018)

Bondavalli, Andrea; Ceccarelli, Andrea; Lollini, Paolo; Montecchi, Leonardo; Mori, Marco: System-of-Systems to Support Mobile Safety Critical Applications: Open Challenges and Viable Solutions, in: IEEE Systems Journal (1), Jahrgang 12, S. 250–261, 2018

Bruhn, M.: Marketingübungen (2004)

Bruhn, Manfred: Marketingübungen: Basiswissen, Aufgaben, Lösungen ; selbständiges Lerntraining für Studium und Beruf, 2., überarb. Aufl, Gabler, Wiesbaden, 2004

Buchholz, M.: Modulares Fahrzeugkonzept im Projekt UNICARagil (2020)

Buchholz, Michael: Modulares Fahrzeugkonzept im Projekt UNICARagil, gehalten auf dem Infoabend zu modularen Fahrzeugkonzepten, Ulm/Stuttgart, 30. September 2020

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Automatisiertes und vernetztes Fahren

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Automatisiertes und vernetztes Fahren; <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Automatisiertes-und-vernetztes-Fahren/automatisiertes-und-vernetztes-fahren.html>, Zugriff 05.11.2020

Correia, A.L.; Murtinho, V.: Steel and Modularity in Architecture

Correia, A L; Murtinho, V: Steel and Modularity in Architectural Creation, gehalten auf dem XI Congresso de Construção Metálica e Mista, Coimbra, 2017

Deloitte: Autonomes Fahren in Deutschland (2016)

Deloitte: Autonomes Fahren in Deutschland – wie Kunden überzeugt werden, 2016

Dölle, J.E.: Lieferantenmanagement in der Automobilindustrie (2013)

Dölle, Johannes E.: Lieferantenmanagement in der Automobilindustrie: Struktur und Entwicklung der Lieferantenbeziehungen von Automobilherstellern, Springer Gabler Research Schriften zur Unternehmensentwicklung, Springer Gabler, Wiesbaden, 2013

Doran, D.: Supplying on a Modular Basis (2005)

Doran, Desmond: Supplying on a modular basis: an examination of strategic issues, in: Int Jnl Phys Dist & Log Manage (9), Jahrgang 35, S. 654–663, 2005

Eckstein, L. et al.: Automatisiertes Fahren (2018)

Eckstein, Lutz; Dittmar, Torben; Zlocki, Adrian; Wopen, Timo: Automatisiertes Fahren — Potenziale, Herausforderungen und Lösungsansätze, in: ATZ Automobiltech Z (S3), Jahrgang 120, pp. 58–63, 2018

Eljazovic, S.: Diss., Der MINI Relaunch (2018)

Eljazovic, Selmir: Der MINI Relaunch; Dissertation Hochschule Mittweida, Mittweida, 2018

Gehr, F.; Hellingrath, B. Hrsg: Logistik in der Automobilindustrie (2007)

Logistik in der Automobilindustrie: innovatives Supply Chain Management für wettbewerbsfähige Zulieferstrukturen; mit 6 Tabellen, VDI, Springer, Berlin, 2007

Göpfert, J.: Modulare Produktentwicklung (1998)

Göpfert, Jan: Modulare Produktentwicklung: zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation, Gabler Edition Wissenschaft, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 1998

Gouthier, M. et al.: Kundenbegeisterung durch Service Excellence (2012)

Gouthier, Matthias; Bartl, Christopher; Giese, Andreas: Kundenbegeisterung durch Service Excellence im Automobilssektor, in: Proff, H. et al. (Hrsg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2012

Graf, G.: Grundlagen der Volkswirtschaftslehre (2002)

Graf, Gerhard: Grundlagen der Volkswirtschaftslehre, Physica-Lehrbuch, Physica-Verlag HD, Heidelberg, 2002

Hoffmann, C.-A.: Methodik zur Steuerung eines modularen Baukastens (2018)

Hoffmann, Charlotte-Angela: Methodik zur Steuerung eines modularen Baukastens in der Produktentwicklung, in: Methodik zur Steuerung modularer Produktbaukästen, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018

Hoffmann, C.-A.: Produkt- und produktionsseitige Strukturierungskonzepte (2018)

Hoffmann, Charlotte-Angela: Produkt- und produktionsseitige Strukturierungskonzepte, in: Methodik zur Steuerung modularer Produktbaukästen, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018

Holland, H.: Digitale Dienstleistungen in der Automobilbranche (2019)

Holland, Heinrich: Digitale Dienstleistungen in der Automobilbranche, in: Dialogmarketing und Kundenbindung mit Connected Cars, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2019

Holland, H.: Kundenbindungsmanagement in der Automobilbranche

Holland, Heinrich: Kundenbindungsmanagement in der Automobilbranche, in: Hinterhuber H.H., Matzler K. (eds): Kundenorientierte Unternehmensführung, 6. Aufl., Gabler, Wiesbaden, 2009

Howard, M.; Squire, B.: Modularization and the Supply Relationships (2007)

Howard, Mickey; Squire, Brian: Modularization and the impact on supply relationships, in: Int Jnl of Op & Prod Management (11), Jahrgang 27, S. 1192–1212, 2007

Hüttenrauch, M.; Baum, M.: Effiziente Vielfalt (2008)

Hüttenrauch, Mathias; Baum, Markus: Effiziente Vielfalt, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008

Jaroschinsky, A.: Deutsche Automobilindustrie (2018)

Jaroschinsky, Alexander: Deutsche Automobilindustrie, in: Strategische Sanierung von Automobilzulieferern, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018

Kagermann, H.: Die Mobilitätswende (2017)

Kagermann, Henning: Die Mobilitätswende: Die Zukunft der Mobilität ist elektrisch, vernetzt und automatisiert, in: Hildebrandt; A. und Landhäußer; W. (Hrsg.): CSR und Digitalisierung, Management-Reihe Corporate Social Responsibility, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017

Kiss, G.: The Danger of Artificial Intelligence (2019)

Kiss, Gabor: The Danger of using Artificial Intelligence by Development of Autonomous Vehicles, in: Interdiscip. Descr. Complex Syst. (4), Jahrgang 17, S. 716–722, 2019

Kolarova, V. et al.: Projekt „DiVA“ (2020)

Kolarova, Viktoriya; Stark, Kerstin; Lenz, Barbara: Projekt „DiVA – Gesellschaftlicher Dialog zum vernetzten und automatisierten Fahren“, Arbeitsberichte zur Verkehrsforschung, 2020

Kraftfahrbundesamt: Rückrufe

Kraftfahrbundesamt: Rückrufe; https://www.kba.de/DE/Marktueberwachung/Rueckrufe/rueckrufe_node.html, Zugriff 16.12.2020

Krause, D.; Gebhardt, N.: Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien (2018)

Krause, Dieter; Gebhardt, Nicolas: Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien: Hohe Produktvielfalt beherrschbar entwickeln, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2018

Lachmann, W.: Preisbildung und Marktformen (1993)

Lachmann, Werner: Preisbildung und Marktformen, in: Volkswirtschaftslehre 1, Springer-Lehrbuch, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1993

Lang, E.: Diss., Einflussgrößen für die Absicherung von Modulen automatisierter Fahrzeuge (2020)

Lang, Enno: Identifikation und Analyse relevanter Einflussgrößen für die Absicherung von Modulen automatisierter Fahrzeuge, Dissertation TU Darmstadt, Darmstadt, 2020

Lindemann, U.: Handbuch Produktentwicklung (2016)

Lindemann, Udo: Handbuch Produktentwicklung, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München, 2016

Lippert, M. et al.: Definition von Bestehens-/Versagenskriterien (2020)

Lippert, Moritz; Klamann, Björn; Amersbach, Christian; Winner, Hermann: Definition von Bestehens-/Versagenskriterien für das partikuläre Testen von automatisierten Fahrfunktionen, München, 2020

Maier, M.W.: Architecting Principles for Systems-of-Systems (1996)

Maier, Mark W.: Architecting Principles for Systems-of-Systems, in: INCOSE International Symposium (1), Jahrgang 6, S. 565–573, 1996

Maurer, M. et al. Hrsg: Autonomes Fahren (2015)

Autonomes Fahren, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015

Nielsen, C.B. et al.: Systems of Systems Engineering (2015)

Nielsen, Claus Ballegaard; Larsen, Peter Gorm; Fitzgerald, John; Woodcock, Jim; Peleska, Jan: Systems of Systems Engineering: Basic Concepts, Model-Based Techniques, and Research Directions, in: ACM Comput. Surv. (2), Jahrgang 48, S. 1–41, 2015

Ostertag, R.: Supply-Chain-Koordination in der Automobilindustrie (2008)

Ostertag, Ralph: Supply-Chain-Koordination im Auslauf in der Automobilindustrie, Gabler, Wiesbaden, 2008

Parment, A.: Die Automobilindustrie – eine Charakterisierung (2016)

Parment, Anders: Die Automobilindustrie – eine Charakterisierung, in: Die Zukunft des Autohandels, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2016

Renner, I.: Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung (2007)

Renner, Ingo: Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil, Produktentwicklung, 1. Aufl., Hut, München, 2007

SAE: Taxonomy and Definitions for Driving Automation

SAE: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, SAE J3016, 2014

Sanchez, R.: Building Real Modularity Competence (2013)

Sanchez, Ron: Building real modularity competence in automotive design, development, production, and after-service, in: IJATM (3), Jahrgang 13, pp. 204, 2013

Sanchez, R.; Shibata, T.: Modularity Design Rules (2018)

Sanchez, Ron; Shibata, Tomoatsu: Modularity Design Rules for Architecture Development: Theory, Implementation, and Evidence from Development of the Renault-Nissan Alliance „Common Module Family“ Architecture, Sendai, 2018

Schiller, T.: Zeitdrang in der Automobilindustrie (2017)

Schiller, Thomas: Für die Automobilbranche drängt die Zeit, in: Automobilwoche, 2017

Schonert, T.: Interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke der deutschen Automobilindustrie (2008)

Schonert, Torsten: Interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke in der deutschen Automobilindustrie, Gabler, Wiesbaden, 2008

Schwarz, J.: Messung und Steuerung der Kommunikations-Effizienz (2013)

Schwarz, Jürgen: Messung und Steuerung der Kommunikations-Effizienz: eine theoretische und empirische Analyse durch den Einsatz der Data Envelopment Analysis, Basler Schriften zum Marketing Nr.30, Springer Gabler, Wiesbaden, 2013

Siddique, Z. et al.: On the Applicability of Product Variety

Siddique, Zahed; Rosen, David W; Wang, Nanxin: On The Applicability Of Product Variety Design Concepts To Automotive Platform Commonality, gehalten auf der ASME 1998 Design Engineering Technical Conference, Georgia (USA), 1998

Stockmar, J.: Erfolgsfaktoren für Automobilzulieferer (2014)

Stockmar, Jürgen: Erfolgsfaktoren für Automobilzulieferer – Strategien für 2020, in: Ebel; B. und

Hofer; M.B. (Hrsg.): Automotive Management, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2014

Sydow, J. Hrsg: Management von Netzwerkorganisationen (2010)

Management von Netzwerkorganisationen: Beiträge aus der „Managementforschung“, 5., aktualisierte Aufl, Gabler, Wiesbaden, 2010

Technische Universität Braunschweig et al.: Die Produktarchitektur in der Produktentwicklung (2019)

Technische Universität Braunschweig; Inkermann, David; Hanna, Michael; Hamburg University of Technology [TUHH]; Richter, Timo; Wortmann, Nadine; Vietor, Thomas; et al.: Die Produktarchitektur als zentrales Konzept in der Produktentwicklung, in: DFX 2019: Proceedings of the 30th Symposium Design for X, 18-19 September 2019, Jesteburg, Germany, The Design Society, 2019

Thommen, J.-P. et al.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre (2017)

Thommen, Jean-Paul; Achleitner, Ann-Kristin; Gilbert, Dirk Ulrich; Hachmeister, Dirk; Kaiser, Gernot: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017

Ulrich, K.T.: The role of product architecture (1995)

Ulrich, Karl T: The role of product architecture in the manufacturing firm, in: Research Policy, Issues 24, S. 419-440, 1995

Verband der Automobilindustrie: Zuverlässigkeit und attraktives Design (2018)

Verband der Automobilindustrie: Zuverlässigkeit und attraktives Design sind entscheidend beim Neuwagenkauf; <https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/20170118-wissmann-zuverlaessigkeit-und-attraktives-design-sind-entscheidend-beim-neuwagenkauf.html>, 2018, Zugriff 30.12.2020

Wachenfeld, W.; Winner, H.: The Release of Autonomous Vehicles (2016)

Wachenfeld, Walther; Winner, Hermann: The Release of Autonomous Vehicles, in: Maurer; M. et al. (Hrsg.): Autonomous Driving, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2016

Wallentowitz, H. et al.: Grundlagen der Automobilindustrie (2009)

Wallentowitz, Henning; Freialdenhoven, Arndt; Olschewski, Ingo: Grundlagen der Automobilindustrie, in: Strategien in der Automobilindustrie, Vieweg Teubner, Wiesbaden, 2009

Woopen, T. et al.: UNICARagil - Disruptive Modular Architectures (2018)

Woopen, Timo; Eckstein, Lutz; Kowalewski, Stefan; Moormann, Dieter; Maurer, Markus; Ernst, Rolf; Winner, Hermann; et al.: UNICARagil - Disruptive Modular Architectures for Agile, Automated Vehicle Concepts; 1st, in: Volume 1 / 2018 27th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2018 Jahrgang Aachen, S. 663-694, 2018

Die Audi Modellpalette

Die Audi Modellpalette; <https://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen.html>, Zugriff 11.01.2021

Die Mercedes-Benz Modellpalette

Die Mercedes-Benz Modellpalette; https://www.mercedes-benz.de/?csref=mc-sem_cn-DEU_WS_MBC_BrandOverall_Brand_Exact_ci-Google_si-g_pi-kwd-296400398609_cri-372644175096_ai-mercedes+benz+deutschland&kpid=go_cmp-119026233_adg-44214466453_ad-372644175096_kwd-296400398609_dev-c_ext-&gclid=Cj0KCQiA6Or_BRC_ARI-sAPzuer_re3PPbtmo_XpMe63LXdHOb52gLiD1k5nU-36YKDYZ0MGyF6h3GicaAsUNE-ALw_wcB&group=all&subgroup=see-all&view=BODYTYPE, Zugriff 11.01.2021

Die Opel Modellpalette

Die Opel Modellpalette; <https://www.opel.de/>, Zugriff 11.01.2021

Die Renault Modellpalette

Die Renault Modellpalette; <https://www.renault.de/modelluebersicht.html>, Zugriff 11.01.2021