

---

# TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

## **Bewertung der Strukturvariabilität von Pkw-Karosseriederivaten**

Dipl.-Ing. Univ. Florian L. Tesch

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen  
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor – Ingenieurs**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hartmut Hoffmann

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Heißing
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Horst Baier

Die Dissertation wurde am 26.04.2010 bei der Technischen Universität München eingereicht  
und durch die Fakultät Maschinenwesen am 14.09.2010 angenommen.

---





# Kurzfassung

Die Automobilmärkte in Europa und den USA sind weitestgehend gesättigt. Das führt dazu, dass die Kunden vermehrt durch speziell auf ihre Wünsche zugeschnittene Fahrzeugkonzepte mit deutlich unterschiedlichen Erscheinungsformen und Karosserieverhältnissen gewonnen werden. Um den wachsenden Entwicklungsaufwand für die Fülle an individuellen Fahrzeugen in Grenzen zu halten, werden die einzelnen Fahrzeugprojekte zu Produktfamilien zusammengefasst und ausgewählte für den Kunden nicht sichtbare Bereiche der Karosserien einer weitreichenden Standardisierung unterworfen.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der Entwicklung einer Methodik zur Ableitung und Bewertung von maßlich skalierten Karosseriederivaten in Produktfamilien. Das Ziel dabei ist es, in dem Spannungsfeld zwischen Standardisierung und Differenzierung, bereits in initialen Entwicklungsphasen einen optimalen Standardisierungsansatz für die Karosserien der zu entwickelnden Produktfamilie bereitstellen zu können.

Die skalierbare Plattform für Karosseriebodengruppen wird in dieser Arbeit als methodischer Lösungsansatz für die genannte Problematik definiert. Eine skalierbare Plattform erlaubt in diesem Zusammenhang den Standardisierungsansatz in der Karosserie auf die maßlich skalierten Derivate zu übertragen und somit eine wirtschaftliche Fertigung trotz der kundenwirksamen Differenzierungen garantieren zu können. Basis der skalierbaren Plattform bildet eine breite Wissensbasis zu den Architekturen, Bauformen und Bauweisen von Karosserien, Analysen zu den aktuell in der Automobilindustrie verwendeten Lösungen für Skalierbarkeit in der Bodengruppe sowie Analysen zu den notwendigen typflexiblen Produktionsprozessen, die eine kostengünstige Produktion einer skalierbaren Plattform erst ermöglichen.

Den ersten Bestandteil der Bewertungsmethodik bildet eine Konstruktionsmethodik, die es erlaubt die Geometrien einer Karosseriebodengruppe gesamthaft parametrisch assoziativ mit reduziertem Aufwand aufzubauen. Ziel ist eine rasche Änderungs- und Anpassbarkeit der Konstruktion an die sich in frühen Entwicklungsphasen oft ändernden Prämissen. Eine in diese Konstruktionsmethodik implementierte Logik sichert den Standardisierungsansatz in allen Derivatbodengruppen der Produktfamilie. Zusätzlich erlaubt diese implementierte Logik die Ableitung der differenzierten Derivate allein durch eine Steuerung über ausgewählte Maßparameter. Durch diese Vorgehensweise wird eine parallele Darstellung aller skalierten Derivate mit reduziertem Aufwand realisiert und erlaubt somit die Entwicklung eines geometrisch konsistenten Standardisierungsansatzes für die Derivate der Produktfamilie bereits in sehr frühen Entwicklungsphasen.

Als zweiter Bestandteil der Bewertungsmethodik wird ein Kennzahlensystem entwickelt, mit dem die Derivatbodengruppen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und ihrer geometrischen Maßzielerreichung bewertet werden. Die Funktionsweise der Bewertungsmethode basiert in einer starken Vereinfachung auf einer skriptbasierten Skalierung der Fertigungskosten eines Referenzfahrzeugprojekts. Die Eingangsdaten für die Bewertung bilden dabei automatisiert aus der Konstruktion der erstellten Bodengruppen ausgelesene Produktionsgrößen der Karosseriebauteile. Finales Bewertungskriterium der Bewertungsmethode bildet die Derivateableitungskennzahl, die erlaubt unterschiedliche Derivate sowie verschiedene Ableitungsszenarien je Derivat miteinander zu vergleichen.

Die entwickelte Methodik unterstützt somit die Ingenieure der Karosserieentwicklung in frühen Entwicklungsphasen gezielt in der Meinungsbildung bei der Findung eines optimalen Standardisierungsansatzes für die geplanten Karosseriederivate einer Produktfamilie.

Die entwickelte Bewertungsmethodik wird exemplarisch an verschiedenen Szenarien für die Ableitung eines SUV- und eines Roadsterderivats auf Basis einer Produktfamilie validiert.



## Abstract

Automotive markets in Europe and the USA are saturated. This leads to the fact, that customers can only be attracted by nearly custom-made vehicle concepts. This forces the automotive manufactures not only to provide the market with a high number of different equipment-components per vehicle. It makes it as well necessary to develop many vehicle concepts with different shapes of the body-in-white.

To minimize the additional work in the development for the individual vehicle projects, an extensive standardisation of product and production is required for the customer-invisible areas of the car body. For achieving the desired effects (an optimal competitive product with optimal achieved customer demands) it is essential for the planning team of large product lines to realize the optimal standardisation requirements at an early stage.

A ratio system developed within this research-project for the quantification of the product line capability of vehicle projects, should support the decisions in early stages of the development process. Basic element of this ratio-system is a parametric-associative model of a concept floor panel in Catia V5 which is designed for the geometric creation and evaluation of standardizing concepts for body floor concepts and vehicle components of different vehicle projects. An evaluation routine adapted to this model gives the possibility to compare the created vehicle concepts to the chosen basic vehicle concerning a cost-estimation of the production costs in the press shop and the body shop.

Embedded to a general strategy the developed procedure shall support the developers of the body-in-white in product families in their decision process in the early stages of the product development process in finding the optimal attempts of standardisation for specific car derivatives.

The developed ratio-system is validated for varying scenarios of the derivation of an SUV- and Roadster-Vehicle based on a vehicle product family.



# Danksagung

Danken möchte ich an dieser Stelle Herrn Prof. Bernd Heißing für die Betreuung dieser Arbeit an der Technischen Universität München. Vielen Dank für die Möglichkeit, dass ich im Rahmen des Forschungsprojekts Strukturvariabilität arbeitsteilig an der Hochschule und in der Automobilindustrie tätig sein konnte. Dieses Arbeitsmodell hat mich persönlich bereichert und die Realisierung dieser Arbeit erst möglich gemacht.

Danken möchte ich ebenfalls Herrn Michael Ahlers, meinen Betreuer von Seiten der BMW Group. Durch seinen Einsatz wurde diese Arbeit initiiert und konnte durch die vielen Gespräche und Anregungen sowie die tatkräftige Unterstützung zu einem sehr guten Ergebnis gedeihen.

Danken möchte ich Herrn Prof. Horst Baier für die Übernahme des Koreferats und Herrn Dr. Fink für die tatkräftige Betreuung von Seiten der Technischen Universität.

Ein hohes Maß an Dankbarkeit möchte ich auch den Studenten an der Technischen Universität München, bei BMW und an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg widmen. Durch ihren hohen Arbeitseinsatz in Form von Studienarbeiten und Praktika haben sie mich in großem Umfang unterstützt.

Danken möchte ich ebenso meinen Kollegen bei BMW und am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität München die mich durch viele interessante Gespräche auf den richtigen Weg gebracht haben und auch die freien Stunden nach der Arbeit mit viel Freude und Spaß gefüllt haben.

Einen herzlichen Dank richte ich auch an meine Familie. Meine Eltern haben mir ermöglicht diesen Weg zu gehen und meinen Schwestern Luise und Sophie danke ich für die mentale Unterstützung.

Einen ganz großen Dank sende ich auch an meine Frau Caroline. Sie hat alle meine Launen und Unausgeglichenheiten in der Endphase dieser Arbeit auf sich genommen und mich immer unterstützt wo es nur gerade ging.

München, den 15.04.2010

---

Florian Tesch



# Vorwort

Diese Arbeit ist im Rahmen des Forschungsprojekts „Strukturvariabilität“ in Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität München und der BMW Group entstanden.

Die Arbeiten zur Erstellung der im Rahmen dieser Promotion entstandenen Konstruktions- und Bewertungsmethodik wurden größtenteils im Forschungs- und Innovationszentrum der BMW Group in München auf Basis der aktuellen Entwicklungsstände der BMW Group angefertigt. Diese Arbeit hat daher sicherlich eine OEM-spezifische Einfärbung und wird sich an vielen Stellen einer BMW-eigenen Nomenklatur bedienen. Der Forderung nach einer allgemeinen Gültigkeit wird aber in jedem Falle Rechnung getragen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit basieren auf empirischen Marktanalysen von maßlich skalierten Produktfamilien europäischer, US-amerikanischer und asiatischer Hersteller, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden. Aus Gründen der Vertraulichkeit werden die gefundenen Mechanismen für Standardisierung und Differenzierung in den Karosseriebauteilen der Bodengruppen der Produktfamilien vorgestellt, die jeweiligen herstellereigenen Lösungen werden aber nicht detailliert beschrieben.





# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>V</b>
<b>Vorwort</b> .....	<b>VII</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>XVII</b>
Allgemeine Abkürzungen.....	XVII
Fahrzeugspezifische Abkürzungen.....	XVII
Formelzeichen.....	XX
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Ausgangssituation</b> .....	<b>2</b>
Gesättigte Automobilmärkte und Individualisierung.....	2
Kundenindividuelle Massenproduktion.....	2
Systematischer Produktaufbau für Fahrzeugfamilien.....	2
Effizienzpotenziale in der Produktentwicklung.....	4
Effizienzpotenziale in der Produktionskostenermittlung.....	5
<b>1.2 Problemstellung</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3 Zielsetzung</b> .....	<b>7</b>
Erarbeitung begrifflicher Definitionen für Ableitungsvorhaben.....	7
Entwicklung einer Methodik zur Bewertung der Ableitung von Karosseriederivaten in Produktfamilien in frühen Phasen.....	8
Entwicklung einer parametrisch assoziativen Konstruktionsmethodik für die Ableitung von Karosseriederivaten.....	8
Entwicklung einer Derivateableitungskennzahl.....	8
<b>1.4 Aufbau der Arbeit</b> .....	<b>9</b>

<b>2</b>	<b>Differenzierte Karosserien in Produktfamilien.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Produktportfolio: Solitärfahrzeuge und Produktfamilien .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Theoretischer Bezugsrahmen zu Fahrzeugfamilien .....</b>	<b>12</b>
2.2.1	Aktuelle Wettbewerbssituation .....	13
2.2.2	Variantenvielfalt und Komplexität .....	14
2.2.3	Standardisierung .....	15
2.2.4	Skalierung und Flexibilität .....	16
2.2.5	Produktordnungssysteme.....	17
	Baukasten.....	17
	Modularisierung .....	18
	Modularisierung von Karosserien .....	19
	Plattform .....	19
	Skalierbare Plattformen .....	22
	Produktordnungssystem - Produktfamilie .....	23
2.2.6	Fazit.....	24
<b>2.3</b>	<b>Grundlagen zu Karosserien von Personenkraftwagen.....</b>	<b>25</b>
2.3.1	Karosseriebauformen .....	25
	Konventionelle Personenkraftwagen .....	25
	Geländewagen und SUV .....	25
	Roadster .....	26
2.3.2	Karosseriebauweisen und Werkstoffe .....	27
2.3.3	Moduleinteilung von Karosserien .....	29
	Modul 1 – Bodengruppe .....	30
	Modul 2 – Karosseriegerippe.....	32
2.3.4	Gestaltungsfelder der Produktfamilienkonzeption.....	32
	Fahrzeugarchitekturen.....	34
	Karosseriebauformtypische Packageproportionen .....	36
	Fahrzeugklasseneinteilung.....	39

	Zusammenfassung.....	39
<b>2.4</b>	<b>Ableitung von Derivaten in Produktfamilien .....</b>	<b>40</b>
2.4.1	Fahrzeuganalysen zur Ableitung von Derivaten in Produktfamilien .....	40
	Audi Modularer Längsbaukasten .....	40
	BMW Produktlinie.....	41
	Ford C1-Plattform.....	41
	Nissan-Infiniti FR-L Plattform .....	42
	Renault B-Plattform.....	43
	Renault D-Plattform.....	43
	Toyota - Lexus IS und GS.....	43
	Volkswagen PQ35/PQ36 – PQ46 .....	44
	Volvo P2-Plattform .....	45
2.4.2	Klassifizierung Ableitungsvorgehen für Fahrzeugfamilien .....	46
	Horizontale Ableitung .....	46
	Horizontale Markenableitung .....	46
	Vertikale Ableitung .....	47
	Multidirektionale Ableitung .....	47
2.4.3	Standardisierung und Differenzierung in Pkw-Karosserien .....	48
	Definitionen .....	48
	Standardisierung von Karosseriebodengruppen.....	48
	Differenzierung von Karosseriebodengruppen.....	49
2.4.4	Derivatableitung und Karosseriemaße .....	51
2.4.5	Gestaltung von skalierten Karosseriederivaten in Produktfamilien.....	52
	Skalierung der Fahrzeuglänge .....	52
	Skalierung der Fahrzeugbreite.....	53
	Skalierung der Fahrzeughöhe.....	54
	Skalierung der Tragstrukturdimensionierung .....	55
<b>2.5</b>	<b>Produktionsprozess Karosserie.....</b>	<b>55</b>
	Prozessübersicht Karosserieproduktion.....	55

2.5.1	Produktionsablauf Blechumformung im Presswerk.....	56
	Flexible Anlagen- und Werkzeugkonzepte .....	56
2.5.2	Produktionsablauf im Karosseriebau.....	57
	Flexibilität im Karosseriebau.....	58
<b>3</b>	<b>Parametrisch assoziative Karosseriekonstruktion ..</b>	<b>60</b>
<b>3.1</b>	<b>Grundlagen zu parametrisch assoziativer Konstruktion.....</b>	<b>61</b>
	Definitionen.....	61
	Parametrisch assoziative CAD-Systeme .....	62
<b>3.2</b>	<b>Wissenschaftliche Ansätze .....</b>	<b>63</b>
<b>3.3</b>	<b>Konstruktionsprozess Karosserie .....</b>	<b>64</b>
	Datenmanagement und Digital Mock Up.....	64
	Gesamtfahrzeugplan und Karosserieplan als Abstimmungsbasis .....	65
	Adapter-Technik und verlinktes Arbeiten.....	65
	Prozessintegration parametrisch assoziativer Konstruktion .....	66
<b>3.4</b>	<b>Parametrisch assoziative Ansätze in der industriellen Karosserieentwicklung .....</b>	<b>67</b>
3.4.1	Parametergetriebene Konstruktionsmethoden .....	67
	Concept Car - Volkswagen .....	67
	Allgemeine Konstruktionsmethodik - Daimler .....	67
3.4.2	Designgetriebene Konstruktionsmethoden .....	68
	Bereichsmodelle - Volkswagen.....	68
	Parametrisch assoziative Türenentwicklung - Audi .....	68
	Relational Design - BMW.....	69
	Mehrdokumenten-Technik - BMW .....	69
	Eindokumenten-Technik - BMW .....	70
<b>3.5</b>	<b>Fazit Konstruktionsmethoden.....</b>	<b>73</b>
3.5.1	Fazit Wissenschaftliche Ansätze .....	73
3.5.2	Fazit Konstruktionsprozess Karosserie .....	74
3.5.3	Fazit Industrielle Ansätze .....	74

	Fazit Parametergetriebene Konstruktionsansätze .....	74
	Fazit Designgetriebene Ansätze .....	75
3.5.4	Empfehlung.....	75
<b>4</b>	<b>Intension des Forschungsprojekts .....</b>	<b>77</b>
4.1	Handlungsbedarf .....	77
4.2	Neuheit der entwickelten Methodik.....	77
<b>5</b>	<b>Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität .....</b>	<b>79</b>
5.1	Übersicht der Bewertungsmethodik .....	79
	Baustein A – CAD-Modell .....	80
	Baustein B – Auswerteroutine CAD-Modell .....	80
	Baustein C - Kostenbewertung .....	81
	Baustein D - Geometriebewertung.....	81
	Baustein E - Gesamtbewertung .....	81
5.2	Anforderungen und Prämissen .....	81
	Allgemeine Anforderungen an die Bewertungsmethodik .....	81
	Anforderungen an die parametrisch assoziative Konstruktion .....	81
	Aufbau der Karosserieumfänge .....	82
	Werkekonstellation.....	83
5.3	Baustein A – CAD-Modell.....	83
5.3.1	Übersicht Modellaufbau .....	83
5.3.2	Gliederung der CAD-Umfänge im Einmodell PaKoBG .....	85
5.3.3	Konstruktionslogik der Karosserieumfänge .....	86
	Baumstruktur im Bauteil .....	87
	a.) Assoziative Verlinkung über Input- und Output-Sets .....	87
	b.) Konstruktion und Beschnitt .....	88
	c.) Fertigteil_Flächen und Information_Fertigung .....	88
	Geometrieerstellungsprozess .....	89
5.3.4	Modellsteuerung - Grundmechanismen.....	89

	Steuerelemente .....	89
	Parameter .....	90
	Referenzierungen .....	90
	Logik der Modellsteuerung .....	90
5.3.5	Modellsteuerung – Anwendungsvarianten .....	92
	Steuerung mit übergeordneten Parametern .....	92
	Steuerung mit Fahrwerksadapter .....	92
	Steuerung über Schnittepläne .....	93
	Steuerung der Derivateableitung über einen Adapter mit Steuerparametern.....	93
<b>5.4</b>	<b>Baustein B – Auswerteroutine CAD-Modell .....</b>	<b>95</b>
<b>5.5</b>	<b>Baustein C – Kostenbewertung .....</b>	<b>96</b>
5.5.1	Prämissen Kostenbewertung .....	96
	Investitionskosten .....	96
	Herstellkosten .....	97
	Referenzfahrzeug .....	97
5.5.2	Kostenbewertung Blechumformung .....	97
	Bewertungsgrundlage.....	97
	Bewertungsvorgehen.....	98
	Berechnung Investitions- und Herstellkosten .....	99
5.5.3	Kostenbewertung Karosseriebau .....	100
	Bewertungsgrundlage.....	100
	Bewertungsvorgehen.....	101
5.5.4	Gesamtkostenbewertung .....	102
	Methodenwahl - Investitionsrechnung .....	103
	Bewertungsgrundlage.....	103
	Bewertungsvorgehen.....	105
<b>5.6</b>	<b>Baustein D – Geometriebewertung.....</b>	<b>105</b>
<b>5.7</b>	<b>Baustein E – Gesamtbewertung.....</b>	<b>106</b>

<b>6</b>	<b>Validierung der Bewertungsmethodik .....</b>	<b>107</b>
<b>6.1</b>	<b>Prämissen, Maßvorgaben, Komponenten-Baukasten und Produktfamilienbasis .....</b>	<b>107</b>
	Prämissen .....	107
	Bewertungsgrundlage .....	108
	Komponenten-Baukasten.....	109
	Produktfamilienbasis .....	110
	Produktion .....	110
<b>6.2</b>	<b>Ableitung SUV .....</b>	<b>111</b>
<b>6.2.1</b>	<b>SUV Szenario 1 - Maximale Kommunalität.....</b>	<b>111</b>
	Prämissen .....	111
	Ableitungsvorgehen .....	111
	Längen-Maßkonzept Exterieur.....	112
	Weiten-Maßkonzept Exterieur.....	113
	Höhen-Maßkonzept Exterieur .....	114
	Anpassung Fahrwerk .....	116
	Maßkonzept Interieur und Kofferraum .....	116
	Fazit Ableitung SUV – Szenario 1 .....	118
<b>6.2.2</b>	<b>SUV Szenario2 - Optimales Maßkonzept .....</b>	<b>121</b>
	Prämissen .....	121
	Ableitungsvorgehen .....	121
	Differenzierungen im Vorderbau .....	122
	Differenzierungen im Hinterbau .....	123
	Fazit Ableitung SUV - Szenario 2.....	124
<b>6.2.3</b>	<b>SUV Szenario 3 - Solitär.....</b>	<b>126</b>
<b>6.2.4</b>	<b>Fazit Ableitung SUV.....</b>	<b>127</b>
	Vergleich der Szenarien.....	127
	Ergänzung.....	128
<b>6.3</b>	<b>Ableitung Roadster.....</b>	<b>128</b>

	Status Konzeptdifferenzen.....	129
	Prämissen Roadsterableitung.....	129
6.3.1	Roadster Szenario 1 - Maximale Kommunalität .....	130
	Prämissen.....	130
	Ableitungsvorgehen .....	130
	Fazit Ableitung Roadster - Szenario 1 .....	132
6.3.2	Roadster Szenario 2 - Solitär .....	135
6.3.3	Fazit Ableitung Roadster .....	136
	Vergleich der Szenarien .....	136
	Ausblick zur Roadsterableitung .....	137
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>138</b>
7.1	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>138</b>
7.2	<b>Reflektion .....</b>	<b>139</b>
7.3	<b>Ausblick .....</b>	<b>139</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>A</b>	
	Roadsterproportionen.....	A
	Auswerteroutine CAD-Modell .....	A
	Auswertung PaKoBG durch Auswerteroutine.....	B
<b>Quellenangaben.....</b>	<b>H</b>	
	Literaturquellen.....	H
	Gesetze, Normen und Standards .....	T



# Abkürzungsverzeichnis

## Allgemeine Abkürzungen

BU	Blechumformung auch TU := Technologie Umformung
CAE	Computer Aided Engineering
CAD	Computer Aided Design
CAS	Computer Aided Styling
Catia	Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application parametrisch assoziative CAD-Software; Dassault Systèmes
COP	Carry Over Part Gleichteil oder kommunales Bauteil
JIT	Just in Time
KB	Karosseriebau
KGM	Konzeptgeometriemodell
OEM	Original Equipment Manufacturer
PaKo	Parametrisch assoziative Konstruktion
PaKoBG	Parametrisch assoziative Konzept-Bodengruppe
PEP	Produktentstehungsprozess
Pkw	Personenkraftwagen
SAV	Sports Activity Vehicle
SPL	Schweißpunktlinie
SUV	Sports Utility Vehicle
VBA	Visual Basic Application
VBS	Visual Basic Script

## Fahrzeugspezifische Abkürzungen

AGA	Abgasanlage
BG	Bodengruppe
d <sub>R</sub>	Raddurchmesser

## Abkürzungen und Definitionen

GFP	Gesamtfahrzeugplan
GKL	Große Klasse (Fahrzeugklasseneinteilung)
H5	Höhe R-Punkt vorne bis Standebene [N4]
H10	Höhe R-Punkt 2. Sitzreihe bis Standebene [N4]
H30	Höhe R-Punkt bis Fersenpunkt vorn [N4]
H31	2. Sitzreihe: Höhe R-Punkt bis Fersenpunkt [N4]
H61	Kopffreiheit Dachverkleidung vorn [N4]
H62	Kopffreiheit Dachverkleidung 2. Sitzreihe [N4]
H101	Fahrzeughöhe ML2 [N4]
H106	Überhangwinkel vorn [N4]
H107	Überhangwinkel hinten [N4]
H114	Windlaufpunkt bis Standebene [N4]
H156	Bodenfreiheit ML2 bis Standebene [N4]
H253	Höhe Gepäckraumboden bis Standebene
KP	Karosserieplan
KIRP	Karosserieindex Roadsterproportionen KIRP = L104/L101
KG	Karosseriegerippe
KKL	Kleine Klasse (Fahrzeugklasseneinteilung)
KVA	Kraftstoffversorgungsanlage
L40	Torsowinkel Fahrersitz [N4]
L41	Torsowinkel 2. Sitzreihe [N4]
L48	Kniefreiheit 2. Sitzreihe [N4]
L50	Abstand R-Punkt vorne zu 2. Sitzreihe [N4]
L51	effektiver Beinraum hinten [N4]
L101	Radstand [N4]
L103	Fahrzeuggesamtlänge [N4]
L104	Überhang vorne [N4]
L105	Überhang hinten [N4]

## Abkürzungen und Definitionen

---

LW	Lage Windlauf
MKL	Mittlere Klasse (Fahrzeugklasseneinteilung)
Modul 1	Modul 1 beschreibt die Karosseriebodengruppe (BG) und ist in die Module 1.1 bis 1.4 unterteilt.
Modul 1.1	Vorderwagen
Modul 1.2	Stirnwand
Modul 1.3	Boden Mitte
Modul 1.4	Hinterbau
Modul 2	Karosseriegerippe (KG) und Dachstruktur
Modul 2.1	Karosseriegerippe und Dach
Modul 2.2	Hang on Parts und Scheiben
ML	Messlast
MvS	Angabe des Entwicklungszeitraums eines Fahrzeugprojekts in Monaten vor Serie
PREP	Produkteigenschaftsprofil – enthält die Basismaße eines Fahrzeugs, wird in den frühen Phasen eines Fahrzeugkonzepts festgelegt.
RHT	Retractable Hard Top – klapp- / versenkbares Blechdach für offene Fahrzeuge
R-Punkt	Hüftmittelpunkt Fahrer bzw. Fahrzeuginsassen
R <sub>stat</sub>	statischer Radhalbmesser
R <sub>dyn</sub>	dynamischer Radhalbmesser
UKL	Untere Klasse (Fahrzeugklasseneinteilung)
W20	Y-Koordinate R-Punkt vorne [N4]
W25	Y-Koordinate R-Punkt hinten [N4]
W101	Spurweite vorn [N4]
W102	Spurweite hinten [N4]
W103	Fahrzeugbreite [N4]
W200	Gepäckraumbreite maximal [N4]
W202	Kleinste Breite zwischen den Radhäusern im Gepäckraum [N4]

## Formelzeichen

A	Ausgaben [€]
$A_{BT}$	Bauteilfläche [mm <sup>2</sup> ]
$A_M$	Anzahl der gewichteten Zielmaße (Maluswert)
DAK	Derivatableitungskennzahl
$d_{BT}$	Bauteilstärke [mm <sup>2</sup> ]
E	Einnahmen [€]
$FK_{prop}$	Proportionale Fertigungskosten [€]
g	Gewichtungskoeffizient
$HK_{prop}$	Proportionale Herstellkosten [€]
i	Kalkulationszinsfuß
Inv	Investitionskosten [€]
$K_{fix}$	Fixkosten [€]
$K_{var}$	Variable Kosten [€]
Kw	Kapitalwert [€]
M	Maluswert
$MK_{prop}$	Proportionale Materialkosten [€]
$\eta$	Materialnutzungsgrad [%]
n	Anzahl (in der Kapitalwertrechnung: Anzahl der Perioden)
m	Masse [kg]
$P_{Mat}$	Materialpreis [€]
R	Restwert [€]
$\sigma$	Materialdichte [kg/mm <sup>3</sup> ]
x	Stückzahl, Periodenstückzahl

# 1 Einleitung

Henry Ford wusste im Jahre 1920 wie man mit den Kunden umgeht. Er bot nur ein einziges Produkt an, so dass Bestellungen von Kundenausführungen gegenstandslos waren. Der Kunde konnte genauso gut vom Lager kaufen, so WOMACK [155]. Aber er schuf aus heutiger Sicht ein schlechtes Vorbild. Er zeigte klar an, dass die Produktionsbedürfnisse der Fabrik an erster Stelle standen. Die Kunden sollten sich daran anpassen.

Heute ist eine solche Produktions- und Vermarktungsstrategie in den gesättigten Märkten im gehobenen Preissegment undenkbar. Mit dem Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt zwingt die Macht der Kunden die Unternehmen dazu sich durch speziell an die Kundenbedürfnisse angepasste Produktlösungen von den Wettbewerbern abzuheben [95] NILLES. Dies führt zu einer Differenzierung der Produkte und einer starken Fragmentierung des Automobilmarktes mit einer immer weiter zunehmenden Anzahl an Nischenmärkten mit unterschiedlichsten Fahrzeuggattungen. Im Detail betrachtet, bewirkt die Individualisierung nach PILLER ein Sinken der Stückzahlen je Derivat und gleichzeitig eine hohe Anzahl und/oder Verschiedenartigkeit der Bauteile [112]. Zudem führen Globalisierung und internationale Wettbewerber zu einem intensiveren Wettbewerb. Um dem damit einhergehenden, gestiegenen Kostendruck begegnen zu können, werden die für den Kunden nicht aktiv erlebbaren Bereiche des Fahrzeugs einer weitreichenden Standardisierung unterzogen.

Aufgrund der hohen zu tätigen Investitionssummen im Karosseriebereich ist es für die Entwicklung und Produktion großer Produktfamilien schon in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses unerlässlich zu wissen, mit welchem Standardisierungsansatz die Karosserien der Fahrzeuge im Produktportfolio realisiert werden sollen. Aktuell haben sich hierbei in der Automobilentwicklung die Plattformstrategie und skalierbare Karosseriekonzepte durchgesetzt. Neben qualifizierten Produktordnungssystemen muss der effizienten Entwicklung von Fahrzeugkarosserien in Produktfamilien ein hoher Stellenwert eingeräumt werden. So wird es in Zukunft unerlässlich sein, die bereits vorhandene Landschaft an Produktentwicklungs-Software-Tools noch effizienter zu nutzen um schon in frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses detaillierte Aussagen über die Belange der einzelnen Derivate treffen zu können. Vor allem im Bereich der Karosseriekonstruktion wird es notwendig werden die Potenziale einer parametrisch assoziativen Konstruktion frühzeitig auszuschöpfen um eine breite Wissensbasis über die geometrische Maßzielerreichung aller relevanten Derivate zu schaffen und dies für eine stabile und nachhaltige Entwicklung der Produktfamilien nutzen zu können. Weiteres Ziel ist es, den Bewertungsprozess der Produktionskosten im Karosseriebereich zu beschleunigen. Ziel ist es, schon zu Beginn der Produktplanung einen Abgleich der ermittelten Produktionskosten mit den veranschlagten Plankosten zu ermöglichen.

An diesem Punkt setzt diese Forschungsarbeit an. In den folgenden Ausführungen wird die im Rahmen des Forschungsprojekts mit dem Titel „Strukturvariabilität“ geschaffene Bewertungsmethodik beschrieben, die sich vor diesem Hintergrund mit der Erstellung und Bewertung von maßlich skalierten Karosseriederivaten in Produktfamilien beschäftigt. Den Fokus dieser Arbeit bildet die Entwicklung und Evaluierung einer Methodik zur Bewertung der Ableitung von Karosseriederivaten in Produktfamilien. Das Ziel ist es dabei den Spagat zwischen Standardisierung und Differenzierung bereits in initialen Entwicklungsphasen mit einem optimalen Lösungsansatz aufspannen zu können. Als erster Bestandteil der Bewertungsmethodik wird eine Konstruktionsmethodik entwickelt, die es erlaubt den Standardisierungsansatz der Produktfamilie auf alle Karosserien der maßlich stark differenzierten Derivate zu übertragen. Den zweiten Bestandteil der Bewertungsmethodik bildet ein Kennzahlensystem mit dem eine Bewertung der Derivatbündengruppen hinsichtlich ihrer Produktfamilientauglichkeit durchgeführt wird.

## 1.1 Ausgangssituation

### Gesättigte Automobilmärkte und Individualisierung

In letzter Zeit ist eine hohe Fluktuation von Begeisterungsmerkmalen bezüglich der Erscheinungsform von Fahrzeugen erkennbar. Waren die Kunden in höherpreisigen Marktsegmenten früher noch mit einem hochwertigen Design und einem modellübergreifenden Aufbau der Karosserien quasi "von der Stange" zu begeistern, so wollen die Kunden der Premiumsegmente heute zusätzlich durch individuelle Fahrzeugkonzepte mit individuellen Karosserieformen begeistert werden. Der Trend zur Individualisierung und zur Nische ist nach JÄGER [62] besonders in den tendenziell gesättigten Märkten der Triaderegion seit einigen Jahren als verstärkter Trend ungebrochen. Dies führt zu einer erheblichen Steigerung der Anzahl an stark unterschiedlichen Fahrzeugtypen, die noch weiter zunehmen wird. Für die Fahrzeughersteller bedeutet dies, dass neue Fahrzeugsegmente erschlossen werden müssen, um weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Komplexität des Unternehmensgeschäfts steigt dadurch an und aufgrund des Differenzierungsprozesses besteht nun nach KLOCKE [69] aus produktionstechnischer Sicht die Forderung nach intelligenten Lösungen, die trotz abnehmenden Stückzahlen pro Fahrzeugmodell rationelle Produktionsmethoden zur Verfügung zu stellen.

### Kundenindividuelle Massenproduktion

WILHELM [155] beschreibt, dass sich durch diese Tendenzen in der Automobilbranche die Anzahl der Teilenummern seit 1975 mehr als verfünffacht hat und mehr als die Hälfte der Bauteile in nur 5% der Fahrzeuge verbaut wird. EVERSHEIM [13] sieht das Optimum in diesem Spannungsfeld zwischen einer individualisierten Leistung und maximalen Skaleneffekten, das sich ausgehend von einem Basisprodukt nur über eine individualisierte Produktleistung erreichen lässt. Die wesentliche Herausforderung für die Unternehmen besteht nun darin, nicht über das Optimum zwischen Nutzen- und Kostenwirkung der Individualisierung hinauszuschließen [13]. Um den Spagat zwischen Massenproduktion und kundenindividuellen Produkten spannen zu können, nennt LINDEMANN [82] die Strategie der individualisierten Massenproduktion oder „Mass Customization“. [...] Man spricht hierbei von individuell gefertigten Produkten, die exakt den Wünschen und Vorstellungen der Kunden entsprechen, deren Preis und Qualität sich aber nicht wesentlich von herkömmlichen Massenprodukten unterscheiden. [...] Gleichermaßen wird dieses Prinzip durch die deutsche Übersetzung „Maßgeschneiderte Massenfertigung“ unterstrichen, die daher rührt, dass die Pioniere der Mass Customization ursprünglich aus dem Bereich der Bekleidungsindustrie stammen.

Einer der Hauptfaktoren der Wirtschaftlichkeit individueller Massenprodukte liegt auf der Organisation der Produktion. REINHART [115] nennt in diesem Zusammenhang die Erhöhung der Flexibilität innerhalb der Produktion. Flexibilität bezeichnet die Fähigkeit eines Unternehmens sich zwischen Szenarien (z.B. saisonale Stückzahlschwankungen) zu bewegen, die bei der Planung des Produktionssystems bereits berücksichtigt werden müssen. Vor dem Hintergrund abnehmender Planungssicherheit und der Tatsache, dass der Produktionslebenszyklus und die Lebensdauer eines Produktionssystems immer weiter auseinander klaffen, ist die Flexibilität und die Reaktionsfähigkeit eines Unternehmens (sprich: Wandlungsfähigkeit) unverzichtbar.

### Systematischer Produktaufbau für Fahrzeugfamilien

Wichtige Grundlage all dieser Überlegungen zur Produktion bildet ein systematischer Produktaufbau. So ist es erst durch eine modularisierte Produktsystematik, Baukastenstrukturen oder Plattformstrategien möglich, über einer standardisierten Produktbasis eine Fülle individueller Produkte mit einem vertretbaren Aufwand zu entwickeln und wirtschaftlich zu produzieren. Grundlage bildet hierbei die Ausrichtung an der Standardisierung nach innen und der Individualisierung nach außen von Produkt und Produktion [95]. In Summe ergeben sich so gesteigerte Anforderungen an die standardisierte Produktbasis.

Ziel der Automobilhersteller ist es die verschiedenen Fahrzeuge im Produktportfolio möglichst effektiv darzustellen. Die Zuordnung und Zusammenfassung der einzelnen Fahrzeuge zu Produktfamilien erfolgt daher bereits in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozess in Abhängigkeit der Fahrzeugarchitektur, wie in **Kapitel 2.3.4** genauer erläutert wird. Wegen eines Anteils von ca. 60% am Gesamtinvestitionsvolumen eines Fahrzeugs liegt der Fokus der Standardisierung auf den Karosserien der Produktfamilie. Standardisierungspotenzial in der Karosserie hat vor allem die Karosseriebodengruppe an der eine Großzahl aller Fahrzeugkomponenten befestigt ist. In letzter Zeit ist daher eine modellreihen- und markenübergreifende Standardisierung der Bodengruppen in der Automobilindustrie erkennbar. Als erste Beispiele für diese Plattformstrategien in der automobilen Entwicklungsgeschichte sind die großen Plattformen von Volkswagen, GM und Ford zu nennen. Der Ansatz dieser Plattformstrategien basiert auf einer baugleichen Verwendung der Karosseriebodengruppe mit einer standardisierten Anordnung der Komponenten in allen Fahrzeugen der Plattform. Für den Kunden wird lediglich das Erscheinungsbild der Fahrzeuge durch ein spezifisches Design des Greenhouses (Karosseriegerippe und Dach) verändert. Mit dieser Plattformstrategie können enorme Kostenpotenziale erschlossen werden. So können die einzelnen Komponenten und die Bauteile des Karosseriebodens mit wesentlich höheren Stückzahlen produziert werden, was in der hauseigenen Fertigung zu einer deutlichen Senkung der Stückkosten durch die Nutzung von Skaleneffekten führt. Auch können die Einkaufskosten bei den Zulieferern gesenkt werden, weil auch hier größere Produktionsvolumina zu einer Senkung der Kosten führen. Die Entwicklungs- und Absicherungskosten für die standardisierte Plattform- oder Produktfamilien-Basis verteilen sich auf ein größeres Absatzvolumen und zusätzlich können durch eine intelligente Fertigung z.B. saisonalbedingte Stückzahlschwankungen zwischen den verschiedenen Fahrzeugen und Werken abgefangen werden. Als kontraproduktiv erweist sich an diesen markenübergreifenden Plattformkonzepten mit einem sehr hohen Anteil an Gleichteilen und gleichen Karosserieproportionen, dass es aufgrund der fehlenden Individualität zu einer Kannibalisierung zwischen den Fahrzeugen und Marken kommen kann und die Kunden zu den preisgünstigeren Produkten in der Familie abwandern. Es droht somit nach JUNGE bei einer markenübergreifenden Standardisierungsstrategie die Gefahr der Markenerosion [63].

Um diesen Effekten entgegen zu wirken, ist es trotz eines hohen Standardisierungsgrades in der Fahrzeugfamilie unerlässlich für den Kunden eindeutig spürbar zwischen den unterschiedlichen Fahrzeugkonzepten und Modellreihen innerhalb der Plattform zu unterscheiden. Der Ansatz hierfür ist, die Proportionen der einzelnen Fahrzeuge bzw. Modellreihen in der Plattform bzw. Produktfamilie stark voneinander zu differenzieren. Voraussetzung für dieses Vorgehen ist eine tyfflexible Fertigung im Karosseriebau mit der es nach MEICHSNER [90] möglich ist, auf einer Hauptlinie differenzierte Zusammenbauten für die Derivate aus einer spezifischen Komponentenfertigung fügen zu können. Das Ergebnis dieses Vorgehens sind Fahrzeuge in einer Produktfamilie, die sich in ihrem Erscheinungsbild deutlich für den Kunden erlebbar in ihren charakteristischen Maßen wie Radstand, Überhanglängen, Spurweite, Fahrzeugbreite, Sitzposition, Fahrzeughöhe, Radgröße und Bodenfreiheit voneinander unterscheiden. Gepaart mit einem differenzierten Design des Karosseriegerippes und einem spezifischen Design im Interieur ist eine signifikante Individualisierung der einzelnen Fahrzeuge, bzw. Modellreihen innerhalb der Produktfamilie erzielbar.

Zusammenfassend lässt sich die aktuelle Situation nach DRÄGER [21] wie folgt beschreiben: Die Preise für Rohstoffe wie Rohöl, Stahl und Edelmetalle sind weiterhin auf einem hohen Niveau und in den Schlüsselmärkten herrscht seit einiger Zeit im Premiumsegment ein bis dato unbekannter, sehr scharfer Wettbewerbsdruck, [...] der sich durch die in den USA über inflationäre Kreditgeschäfte ausgelöste aktuelle Finanzkrise 2008/09 deutlich verschärft hat [...]. Die immer stärkere Ausweitung des Produktportfolios stellt die Entwicklungsarbeit laufend vor neue Herausforderungen. So geht den bis dato guten Verkaufszahlen der Kernmodelle zum Trotz, der Großteil des Absatzwachstums im Premiumsegment auf das Konto neuer Modellreihen. Neue Modellreihen treiben zwar das Absatzwachstum voran, jedoch erreichen die neuen Modelle im Einzelnen tendenziell nicht das Absatzvolumen der Kernreihenmodelle, was am Wesen der Ni-

schenpositionierung liegt [21].

### Effizienzpotenziale in der Produktentwicklung

Die Entwickler stehen nun vor der Herausforderung kontinuierlich effizienter zu werden, um damit auch bei geringen Stückzahlen, nach Umlage der Entwicklungskosten, noch die geforderten Renditeziele zu erreichen. Der Anspruch lautet daher nach DRÄGER [21] größtmögliche Flexibilität im Produktangebot durch eine sowohl schnelle als auch kosteneffiziente Ableitung zusätzlicher Derivate sicherzustellen.

In diesem Zusammenhang steht den Entwicklern heutzutage eine sehr leistungsfähige Umgebung in Form vielfältiger Entwicklungs-Softwaretools zur Verfügung. Jedoch ist eine zielgerichtete und effiziente Anwendung dieser Entwicklungstools in der Automobilindustrie in den konventionellen Entwicklungsprozessen noch nicht flächendeckend zu finden. Vor allem auf dem Gebiet der Konstruktion werden die Anwendungsmöglichkeiten, die parametrisch assoziative Konstruktionsmethoden bieten könnten, nach HASLAUER nicht immer ausreichend genutzt [47]. Dies resultiert zum Einen aus der großen Fülle an Einsatzmöglichkeiten der Softwaretools, die nach BRILL [17] eine bisher nicht dagewesene Komplexität erreicht, als auch aus der daraus resultierenden mangelnden Akzeptanz dieser Einsatzmöglichkeiten durch ungeübte Nutzer und einseitig informierte Aufgabenträger. Aus diesem Grund müssen die Fachabteilungen nach BRAß [14] frühzeitig beginnen, neben notwendigen Schulungen für die Anwender, eigene Erfahrungen zu sammeln, um optimale Einsatzbedingungen zu identifizieren. So ist es mittelfristig zu erwarten, dass die Einführung einer parametrisch assoziativen Konstruktion zu einem effizienteren Einsatz mit einer engen Verzahnung von vor- und nachgelagerten Prozessen der Fertigungsvorbereitung führt. [...]

Ein weiteres Merkmal der parametrisch assoziativen Arbeitsweise liegt in der zunehmenden Bedeutung der „Konstruktions-Methodik“. Die Anwender müssen an diesem Punkt umdenken. Hier ist es nicht das Ziel „mal schnell“ Geometrie zu erzeugen. Der Arbeit am System muss eine konzeptionelle Phase in konstruktionsmethodischer Sicht vorangestellt werden. Es müssen Fragen nach den Abhängigkeiten zwischen den betrachteten Bauteilen und nach den zu erwartenden Änderungen gestellt werden [14] als auch zusätzliche Arbeitsschritte wie Bauteilanalysen, Strukturierung der Konstruktion und Datenqualitätsoptimierung notwendigerweise vorgenommen werden [17]. Die Konstruktionsumfänge sind hierfür neu zu strukturieren und in logische Teilbereiche zu untergliedern. Diese Vorgehensweise ist in der aktuellen Projektlandschaft auf Grund der angespannten Budgetsituation und der zusätzlich zeitlichen Anspannung in noch nicht allen konstruierenden Fachbereichen Stand der Technik. So können vereinzelt technologische Vorreiter in der Vor- und Serienentwicklung durch die Nutzung parametrisch assoziativer Konstruktionsmethoden Effizienzsteigerungen ausweisen, flächendeckend werden jedoch weitgehend konventionelle Methoden angewendet.

Zentrale Abstimmbasis in der Vorleistungsphase der Fahrzeugentwicklung ist der Gesamtfahrzeugplan und für die Karosserieentwicklung der daraus abgeleitete Karosserieschnitteplan (vgl. **Bild 1-1**). Dieses Entwicklungsmedium in 2D-Schnitten ist ein grundlegendes Abstimm- und Dokumentationsinstrument aller Fachbereiche zur Sicherstellung der Maßhaltigkeit des Gesamtfahrzeugprojekts und überzeugt durch seine schlanke Darstellungsform. In frühen Phasen vor der Generierung von 3D-Geometrie eignet sich diese Arbeitsweise ideal zur Konzipierung des Fahrzeugpackages sowie zur ersten Dimensionierung der Tragstruktur ohne aufwändige Bearbeitung der Knotenbereiche in der Karosserie.

Jedoch in Bezug auf die Entwicklung einer standardisierten Karosseriebasis für Produktfamilien ergeben sich hier Nachteile. So können anhand dieser Schnittepläne konkrete Trägerverläufe und die genannten Knotenbereiche in der Karosserie nicht beschrieben werden. Bauraumuntersuchungen sind nur im Bereich der Schnitte möglich. Aussagen zu Gleichteilen zwischen den Derivaten der Produktfamilie lassen sich nur auf Basis von Bauteilmengengerüsten in tabellari-



scher Form beschreiben. Auch die Wechselwirkungen topologisch unterschiedlicher Derivate einer Produktfamilie oder konkrete Aussagen zu Bauteiltrennungen auf Teileebene lassen nur sehr schwer in dieser zweidimensionalen Darstellung diskutieren.

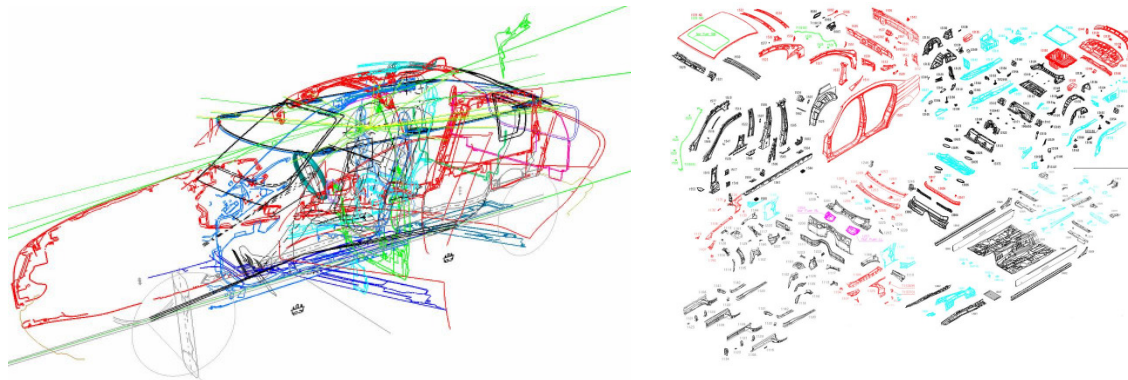


Bild 1-1: Gesamtfahrzeugplan (GFP) in isometrischer Ansicht (li.)  
Bauteilumfang einer Rohkarosserie in einer Explosionszeichnung (re.).

Auch die konventionelle Arbeitsweise, in der die Serienbauteile der relevanten Vorgängerfahrzeuge im Raum neu positioniert werden um als Anhaltspunkt die Karosserien der neuen Produktfamilienfahrzeuge zu versinnbildlichen, ist in Bezug auf Aussagen zur Standardisierung nur bedingt hilfreich. Diese Problematik wird vor allem deutlich sichtbar, wenn Fahrzeuge mit unterschiedlichen Karosserieproportionen, verschiedenen Karosseriekonzepten und Aufbaufolgen oder gar Fahrzeuge mit verschiedenen Architekturen mit einander verglichen oder für eine gemeinsame Verheiratung in einer Produktfamilie untersucht werden sollen. Durch dieses Zusammenspielen der Bauteile nicht verwandter Fahrzeuge ergeben sich Überdeckungen, Sprünge und Lücken in den Karosseriestrukturen, die für die Festlegung einer nachhaltigen Standardisierung für alle Derivate der Produktfamilien ein sehr gutes räumliches Denken und eine enorme Karosseriebauerfahrung erfordern. In den weiteren Arbeitsschritten des Karosserieentwicklungsprozesses stellt sich die Konstruktion neuer Karosseriekonzepte aufsetzend auf den Serienbauteile als sehr arbeitsintensiv dar. Im Detail resultiert der hohe Aufwand zur Geometriererstellung auf der großen Anzahl an Bauteilen, die auf Basis einer Serienkonstruktion einzeln erstellt und/oder geändert werden müssen. Zusätzlich verursachen in der weiteren Detaillierung, Bauteiländerungen mit Rückwirkung auf die Basis einen hohen Arbeitsaufwand, da selbst in den Neukonstruktionen nur personenabhängig parametrisch assoziative Änderungsmöglichkeiten an den Bauteilen und logischen Bauteilgruppen vorgesehen sind. Die ständige Fluktuation der Konstruktionsdienstleister schmälert zudem die Potenziale der parametrisch assoziativen Konstruktion, da es noch keine einheitlichen Standards gibt und die in den Konstruktionsumfängen vorgesehene Parametrik von „Nachfolge-Konstrukteuren“ oft eher als eine Fehlerquelle als eine Hilfe angesehen wird.

Hauptziel der parametrisch assoziativen Konstruktion sollte aber letztendlich eine Steigerung der Effizienz und Produktivität sein. Konkret bedeutet dies eine Verkürzung der Entwicklungszeiten, die Möglichkeit mehr Varianten in der gleichen Zeit zu untersuchen oder Änderungsschleifen in kürzerer Zeit zu realisieren [14]. Hierfür ist es aber dringend notwendig, verbindliche Standards und eine schlüssige Konstruktionsmethodik für frühe Phasen zu entwickeln, die allen beteiligten Konstrukteuren als bindender Leitfaden dient.

### **Effizienzpotenziale in der Produktionskostenermittlung**

Für die Entwicklung nachhaltiger Standardisierungskonzepte in den Karosserien von Produktfamilien ist es notwendig in der Entwicklung frühzeitig einen Kostenabgleich zwischen den vorgegebenen Zielkosten und den tatsächlichen Produktionskosten vornehmen zu können.

Die Ermittlung der Produktionskosten obliegt den Steuerstellen der Produktionsressorts und wird im Produktentwicklungsprozess in der Regel erst mit Fertigstellung der ersten vereinbarten Konstruktionsstände ausgelöst. Somit erhalten die Karosserieentwickler erst spät im Entwicklungsprozess eine abgesicherte Rückmeldung über die monetäre Wirkung der geplanten Standardisierungsansätze. In iterativen Schleifen zwischen der Entwicklung und der Produktion wird die Produktbasis situationsbezogen so lange weiterentwickelt bis aus Sicht der Geometrie, der Funktion und der Produktion eine optimale Lösung entstanden ist. Dieses Vorgehen verlagert die Findung des optimalen Standardisierungsansatzes, besonders für Fahrzeugfamilien mit vielen Derivaten die eine große Spreizung in den Karosserieproportionen aufweisen, an einen späteren Zeitpunkt im Produktentwicklungsprozess. Die Betrachtung einer größeren Anzahl von Lösungsvarianten je Derivat entschleunigt diesen Prozess zusätzlich. Als hinderlich stellen sich in diesem Prozess auch die stark verteilten Kostendaten in den einzelnen Produktionsressorts, ein dezentrales Expertenwissen in den Fachbereichen als auch die fachbereichsübergreifenden Grenzen selbst heraus.

Ein einheitliches Kennzahlensystem zur Bewertung der primären Kostenfaktoren in der Karosserieproduktion könnte in diesem Spannungsfeld zu einem zeitlichen Vorteil verhelfen und suboptimale Entwicklungstendenzen frühzeitig identifizieren.

## 1.2 Problemstellung

Für die Entscheiderkreise ist es in den frühen Phasen des Karosserieentwicklungsprozesses in besonderem Maße wichtig eine hohe Entscheidungssicherheit zu erlangen, welche Derivatkonzepte mit welcher Standardisierungslogik in einer Produktfamilie zusammengefasst werden können und welche Randbedingungen sich daraus für die einzelnen Fahrzeuge ergeben. Zentrale Fragestellungen in diesem Zusammenhang sind:

- Welcher Standardisierungsansatz in der Karosseriebodengruppe ist für die Produktion der geplanten Derivate als zielführend anzusehen?
- Welche Produktionssysteme bieten die Voraussetzung für die Fertigung theoretisch aller Derivate der Produktfamilie auf typflexiblen Produktionsanlagen?
- Können Derivatkonzepte für Nischenfahrzeuge mit extremen Karosserieproportionen in den geplanten Standardisierungsansatz der Produktfamilie mit integriert werden?
- Gibt es durch diese Derivate Rückwirkungen auf die Topologie der gesamten Produktfamilie?
- Welche Kompromisse müssen in den Nischenfahrzeugen eingegangen werden, um dem gewählten Standardisierungsansatz zu genügen?
- Welche Komponenten aus dem Produktfamilien-Baukasten können im Package der Nischenfahrzeuge eingesetzt werden?
- Welche Kosten entstehen durch die Ableitung der einzelnen Derivate in der Produktion auf Grundlage eines gemeinsamen Standardisierungsansatzes in der Karosserie?

Auf der operativen Seite ergeben sich für die Umsetzung dieser Fragestellungen in eine dreidimensionale Konstruktion weiterführende Problemstellungen.

- Wie kann eine parametrisch assoziative Konstruktion in den frühen Phasen des PEP bei der Erstellung und Evaluierung des Standardisierungsansatzes in den Karosserien von Produktfamilien unterstützen?
- Wie müssen CAD-Modelle aufgebaut sein, um eine flexible Anpassung der Karosseriekonstruktion an deutlich unterschiedliche Derivatproportionen in kurzer Zeit zu ermöglichen?

- Wie können die standardisierten Bereiche der Karosserien derivatübergreifend in der Konstruktion aller Derivate der Produktfamilie sichergestellt werden?
- Wie kann die arbeitsteilige Arbeitsweise eines größeren Entwicklungsteams in diesen Modellen koordiniert werden?

Zusätzlich zeigt sich, dass die Bewertung der Produktionskosten in frühen Entwicklungsphasen einen hohen Aufwand verursacht. Die Gegenüberstellung und Bewertung vieler unterschiedlicher Gleichteil-, Produktions- und Stückzahlenszenarien stoßen hier an Kapazitätsgrenzen. Fragestellungen zu diesen limitierenden Faktoren in diesem Zusammenhang sind:

- Wie können durch ein automatisiertes Bewertungssystem die personellen Kapazitäten in den Steuerstellen der Produktionsressorts in der frühen Vorentwicklung sinnvoll von Routinearbeiten bei der Bewertung der Produktionskosten entlastet werden?
- Welche Voraussetzung können in den Konstruktionsmodellen der Derivatkarosserien geschaffen werden um eine automatisierte Bewertung der Produktionsumfänge anstoßen zu können?
- Welche Prämissen müssten bei einem solchen Vorgehen für die Bewertung der Produktionsumfänge gesetzt werden?
- Wie kann eine einheitliche Kostenbasis für die stark verteilten und unterschiedlichen Kostendaten in den einzelnen Produktionsressorts geschaffen werden?

Entscheidungen für oder gegen Derivate in Produktfamilien beruhen auf Expertenwissen und Erfahrungswerten. Die in diesem Forschungsprojekt entwickelte Bewertungsmethodik soll daher die Entscheidungsträger in ihrer Meinungsbildung gezielt unterstützen, auf keinen Fall aber ersetzen.

### 1.3 Zielsetzung

An die Forderungen nach einer größtmöglichen Flexibilität in der Entwicklung für eine kosteneffiziente Ableitung von Derivaten knüpft diese Arbeit an. Es wird der Anspruch erhoben, dem Leser eine Methodik für die Bewertung von standardisierten Karosserien in Produktfamilien zur Verfügung zu stellen, mit der er in frühen Phasen des PEP in seiner Entscheidungsfindung für einen optimalen Standardisierungsansatz und bei der Neuentwicklung von Produktfamilien als auch bei Integration von geplanten Nischenfahrzeugen in Produktfamilien unterstützt wird. So soll durch eine geeignete Konstruktionsmethodik der Standardisierungsansatz für die Bodengruppe der „Produktfamilienkarosserie“ parametrisch assoziativ dargestellt werden und die geometrische Integrierbarkeit von Derivaten analysiert werden. Mit einem Kennzahlensystem für die entstehenden Produktionskosten in der Blechumformung und im Karosseriebau soll eine Derivateableitungskennzahl als Indikator für eine „Produktfamilientauglichkeit“ der Fahrzeuge entwickelt werden.

#### Erarbeitung begrifflicher Definitionen für Ableitungsvorhaben

In einem ersten Schritt ist es für dieses Vorhaben notwendig die Mechanismen einer Skalierbarkeit von Karosseriestrukturen zu kennen. Die Skalierbarkeit von Karosserien soll in diesem Zusammenhang als eine Verknüpfung von Gleichteilumfängen und kundenwertigen Differenzierungen verstanden werden. Die Identifikation unterschiedlicher Ableitungsstrategien auf dem aktuellen Automobilmarkt im Spannungsfeld von Plattformen, Produktfamilien, Modularisierung und Baukästen sowie die Definition von Begrifflichkeiten für eine eindeutige Abgrenzung der unterschiedlichen Vorgehen zueinander bildet die Basis dieses Vorgehens. Die Variabilität in der Karosseriestruktur, oder kurz *Strukturvariabilität*, bezieht sich hierbei auf die Bauteile der Ka-

rosserie selbst, auf die Positionierung der Fahrzeuginsassen, auf die Auswahl und geometrische Integration der Komponenten aus Antrieb, Fahrwerk und Interieur sowie auf die zugrundeliegende Logik für eine typenflexible Fertigung.

### **Entwicklung einer Methodik zur Bewertung der Ableitung von Karosseriederivaten in Produktfamilien in frühen Phasen**

Auf Grundlage des geschaffenen Wissens soll den Entscheidungsträgern und Konstrukteuren eine Methodik an die Hand gegeben werden mit der unterschiedliche Ableitungsszenarien für die Karosserien der geplanten Fahrzeugfamilie erstellt und bewertet werden können. Hierbei sind die Prämissen aus der Produktion sowie die Prämissen der geplanten Derivate zu beachten. Diese Prämissen beziehen sich hierbei auf die geplante Produktfamilienarchitektur, das vorgegebene Maßkonzept der Derivate, gesetzliche Vorschriften, den Komponentenbaukasten der Produktfamilie, sowie die Herstellung der Karosserien in der Blechumformung und im Karosseriebau.

Um den hohen Abstraktionsgrad einer Entwicklung mit Verwendung von Schnittezeichnungen zu reduzieren, soll diese Methodik ermöglichen unterschiedliche Standardisierungsansätze für die Ableitung der geplanten Derivate in der Produktfamilie mit einem vertretbaren Aufwand in einer dreidimensionalen Konzeptkonstruktion darzustellen. Zielkonflikte werden so schon zu frühen Zeitpunkten aufgedeckt und zielgerichtete Entwicklungspfade können frühzeitig eingeschlagen werden.

### **Entwicklung einer parametrisch assoziativen Konstruktionsmethodik für die Ableitung von Karosseriederivaten**

Für ein grundlegendes Verständnis zur Logik einer parametrisch assoziativen Konstruktion soll eine Recherche der aktuellen Konstruktionsmethoden mit dem Fokus der Flächenmodellierung von Karosseriebauteilen erfolgen. Dabei sollen die aktuell in der Literatur und der Industrie vorgefundenen, parametrisch assoziativen Modellansätze für Fahrzeugkarosserien analysiert und bewertet werden. Unter Zuhilfenahme der vorgefundenen Methodiken soll für die genannte Problemstellung eine neuartige Konstruktionsmethodik entwickelt werden. Mit dieser Methodik soll es in frühen Phasen des PEP möglich sein die Bodengruppen aller zur Produktfamilienbasis skalierten Derivate in einem Konzeptgeometriemodell darzustellen und diese hinsichtlich ihrer geometrischen und gesetzlichen Stimmigkeit zu überprüfen.

### **Entwicklung einer Derivateableitungskennzahl**

Durch ein Kennzahlensystem soll es den Konstrukteuren und Entscheidungsträgern erleichtert werden, die unterschiedlichen Konstruktionsvarianten zueinander und im Vergleich zur Basis der Produktfamilie gewichten zu können. Unter Betrachtung der Aspekte einer typflexiblen Fertigung sollen so die geometrisch geprüften Konzepte unter fertigungstechnischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten verglichen werden können. Bewertungskriterien sollen hierbei der Übernahmegrad an Karosseriebauteilen aus der Basis, die Erreichung der vorgegebenen Maßziele sowie die entstehenden Kosten im Presswerk und im Karosseriebau sein. In einer Gesamtbewertung sollen diese Bewertungskriterien in einer Kennzahl, der Derivateableitungskennzahl, zusammengefasst werden und dadurch den Vergleich verschiedener Szenarien je Derivat erlauben.

## 1.4 Aufbau der Arbeit

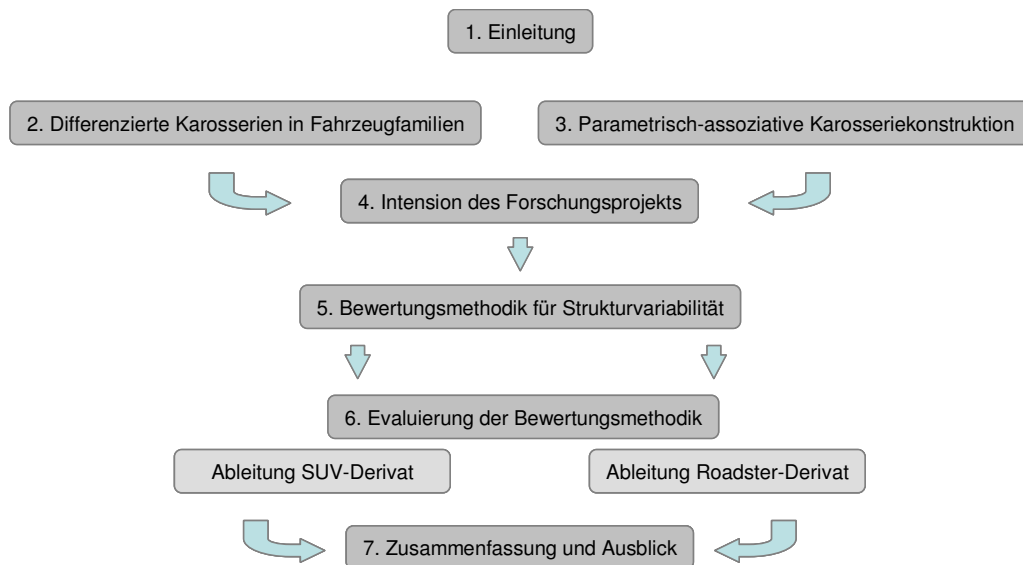


Bild 1-2 Aufbau der Arbeit

Nach der „Einleitung“ in **Kapitel 1** mit Beschreibung der Ausgangssituation und der Zielsetzung werden in **Kapitel 2** „Differenzierte Karosserien in Produktfamilien“ die Grundlagen zum Stand der Technik von Karosserien in Fahrzeugfamilien geschaffen. Ausgehend von einer Beschreibung der theoretischen Basis zu Produktordnungssystemen wie Baukästen, Modularisierung und Plattformen, werden die relevanten Karosseriebauweisen sowie verschiedene Architekturen und Proportionen von Karosserien erläutert. Es wird auf den Produktionsprozess von Personenkraftwagen-Karosserien eingegangen. Der Fokus liegt hierbei auf den Prozessen der Blechumformung und des Karosseriebaus. Im Anschluss werden die grundlegenden Begriffe zu Karosserien im Kontext von Produktfamilien dargelegt. Dabei erfolgt eine Definition allgemeiner Ableitungsvorgehen in Produktfamilien und es werden die Mechanismen von Standardisierung und Differenzierung in den Karosserien von Produktfamilien erläutert.

**Kapitel 3** beschäftigt sich mit dem Stand der Technik zu den aktuellen Konstruktionsmethoden für Kraftfahrzeugkarosserien. Es werden die heutigen parametrisch assoziativen CAD-Systeme in der Karosseriekonstruktion beleuchtet und deren Potenziale für die Anwendung im Rahmen der Zielsetzung dieser Arbeit herausgearbeitet.

Aufbauend auf der in **Kapitel 4** festgesetzten „Intension des Forschungsprojekts“ wird in **Kapitel 5** die im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte „Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität“ vorgestellt und die in ihr notwendigen Arbeitsschritte aufgezeigt. Die Beschreibung der Methodik ist in die fünf Bausteine A bis E untergliedert.

Mit der in Baustein A entwickelten Konstruktionsmethodik ist es möglich, die Bodengruppen der Derivate entsprechend den geometrischen Anforderungen darzustellen sowie die Derivate mit unterschiedlichen Gleichteilkonzepten auszulegen. Die in Baustein B beschriebene, in die Konstruktionsmethodik integrierte Auswerteroutine ist Voraussetzung für eine Bewertung der Produktionskosten der Derivate in Baustein C. Unter dem Einfluss gewählter Produktionsprämissen kann anhand des Kennzahlensystems eine Aussage über die Kostenstruktur der Bodengruppen der jeweiligen Derivate getroffen werden. Baustein D dient zur Bewertung der Maßzielerreichung der jeweiligen Derivate und in Baustein E werden die Bewertungsergebnisse in der Derivateableitungskennzahl zusammengefahren. Eine Übersicht über die in **Kapitel 5** entworfene Methodik ist aus **Bild 1-3** zu entnehmen.

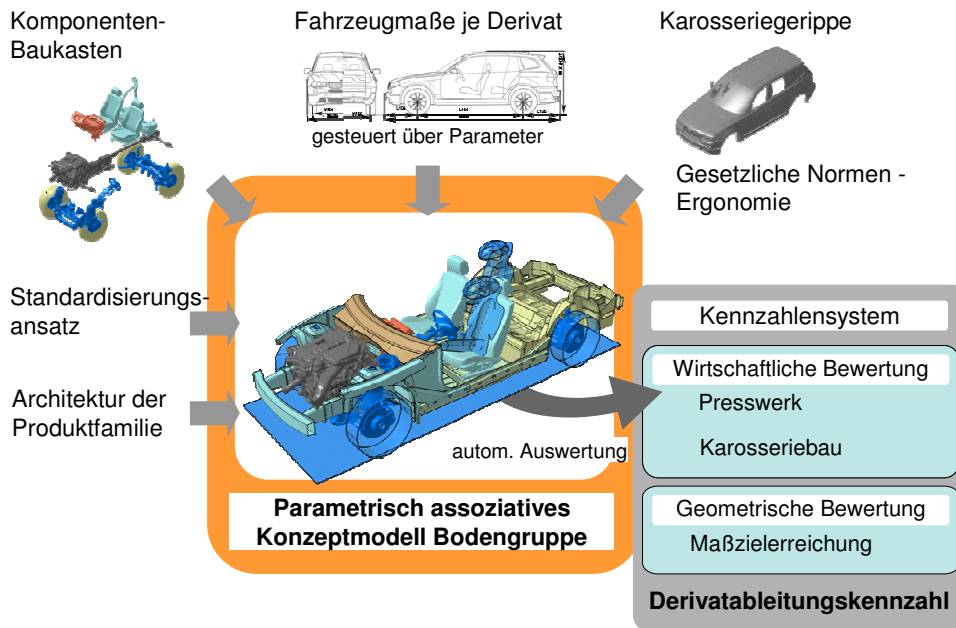


Bild 1-3: Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität

In **Kapitel 6** erfolgt die Validierung der Bewertungsmethodik am Beispiel der Ableitung zweier Derivate einer Produktfamilie. Je abgeleitetem Derivat werden dabei unterschiedliche Szenarien für den Standardisierungsansatz in der Karosserie und der damit einhergehenden Zielerfüllung der vorgegebenen Fahrzeugmaße erstellt und bewertet. Betrachtet werden im Rahmen dieser Arbeit die Ableitung eines SUV- und eines Roadsterderivats auf Basis einer Produktfamilie der Mittelklasse mit einer Architektur für Standardantriebe. Abschließend wird mit Hilfe der entwickelten Methodik eine Empfehlung für die einzelnen Varianten ausgesprochen.

**Kapitel 7** enthält eine Zusammenfassung der Forschungsarbeit und beschäftigt sich reflektierend mit den erzielten Ergebnissen. Weiterhin gibt dieses Kapitel einen Ausblick auf die aktuelle industrielle Anwendung der entwickelten Methodik sowie die damit verbundene zukünftige Veränderung der Entwicklungsprozesse von Karosserien in Produktfamilien und verweist auf die aktuellen Forschungsaktivitäten die an diese Arbeit anknüpfen.

## 2 Differenzierte Karosserien in Produktfamilien

Nach dem ersten Weltkrieg führten Henry Ford und Alfred Sloan von General Motors die Fertigung von Automobilen aus der jahrhunderte alten Tradition der handwerklichen Herstellung in das Zeitalter der Massenproduktion [155]. So war es schon in den 1920ern das Bestreben von Henry Ford auf dem Leiterrahmengestell seiner „Tin Lizzy“ (dem Ford Model T) eine Reihe verschiedenartiger Fahrzeugaufbauten für unterschiedliche Einsatzzwecke dem Kunden zum Kauf anzubieten. Die Entwicklung von Fahrzeugen in Produktfamilien ist somit seit Anbeginn der industriellen Fertigung von Kraftfahrzeugen Stand der Technik.

Die Produktion von Fahrzeugen in Produktfamilien auf Basis einer reinen Blechschalenbauweise ist aber erst seit Mitte des letzten Jahrhunderts Stand der Technik. So wurden z.B. bei BMW seit den 1960er Jahren die Modellreihe 2000 und 2002, auch bekannt als „die neue Klasse“, dem Kunden in Form unterschiedlicher Karosseriederivate zum Kauf angeboten. Der Begriff *Derivat* ist dabei als eine Karosserievariante innerhalb einer Produktfamilie zu verstehen [7]. Der karosserie seitige Standardisierungsansatz basierte für die damaligen Modellreihen auf der Verwendung eines gleichen Karosseriebodens zur standardisierten Applikation von Antrieb, Fahrwerk und Interieur. Die Differenzierung der einzelnen Produktfamilienderivate erfolgt dabei hauptsächlich im Karosseriegerippe durch ein unterschiedliches Design oder eine Öffnung der Dachstruktur für die Erstellung eines Cabriolets. Durch dieses Vorgehen konnten in der BMW 02-Reihe (1966 - 1975) die Karosseriederivate Limousine, Touring sowie ein Cabriolet erstellt werden (siehe **Bild 2-1**). 1971 erhielt das BMW 2002 Cabrio zusätzlich einen Überrollbügel [138].

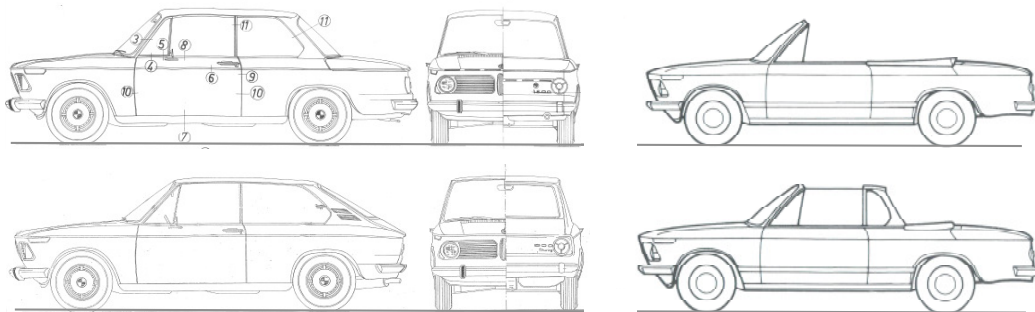


Bild 2-1: BMW 02 Produktfamilie (1966 – 1975);  
BMW 2002 Limousine, Touring (li.) und Cabrio (re.) [138]

Herstellerübergreifend wird diese Vorgehensweise zur Erstellung differenzierter Karosseriederivate auf der Basis einer standardisierten Karosseriebodengruppe in heutigen Fahrzeugfamilien unverändert und in modifizierter Weise angewendet. Aufgrund der deutlich angestiegenen und zum Teil widersprüchlichen Anforderungen der einzelnen Produktfamilienderivate ist die Forderung nach Skalierungen in der standardisierten Karosseriebasis der Fahrzeugfamilie stärker in den Vordergrund gerückt. Anforderungen ergeben sich hierbei durch eine deutliche Differenzierung der Derivate bei einer gleichzeitig hohen Wirtschaftlichkeit in der Entwicklung und Fertigung unter Beachtung der Anforderungen aus passiver Sicherheit, Steifigkeit, Leichtbau, Komfort sowie Designanspruch.

In den weiteren Ausführungen des **Kapitel 2** soll ein Verständnis für das Spannungsfeld der Entwicklung und Produktion von differenzierten Fahrzeugkarosserien in Produktfamilien geschaffen werden. Ausgehend von einem theoretischen Bezugsrahmen in dem die Grundlagen zu Wettbewerb, Varianten und Komplexität sowie zu Produktordnungssystemen geschaffen werden, folgt ein Abschnitt zu den Grundlagen von Karosserien, deren Architektur und Bautypen sowie zu deren Produktion.



## 2.1 Produktportfolio: Solitärfahrzeuge und Produktfamilien

Das Produktportfolio gibt nach HEIBING [50] eine Übersicht über die Produkte eines Herstellers. Es gibt Aufschluss über die Einführungsstermine der Fahrzeugvarianten der Modellreihen, Nachfolger und geplante Neuentwicklungen aufgliedert nach Produktklassen, Leistungseigenschaften uvm. Es ist dabei ein Planungsinstrument für den Ressourcen- und Mitteleinsatz. Das Produktportfolio eines Herstellers bestimmt langfristig die Marktposition der Marke [50]. In **Bild 2-2** zeigt ein Produktportfolio die aktuelle Fahrzeugflotte der BMW Group in 12/08. Über einem Schachbrett aus Karosserievarianten und Fahrzeugklassen zeigt es die Zuordnung der Fahrzeuge zu den jeweiligen Modellreihen (Produktfamilien) und kennzeichnet Solitärfahrzeuge.

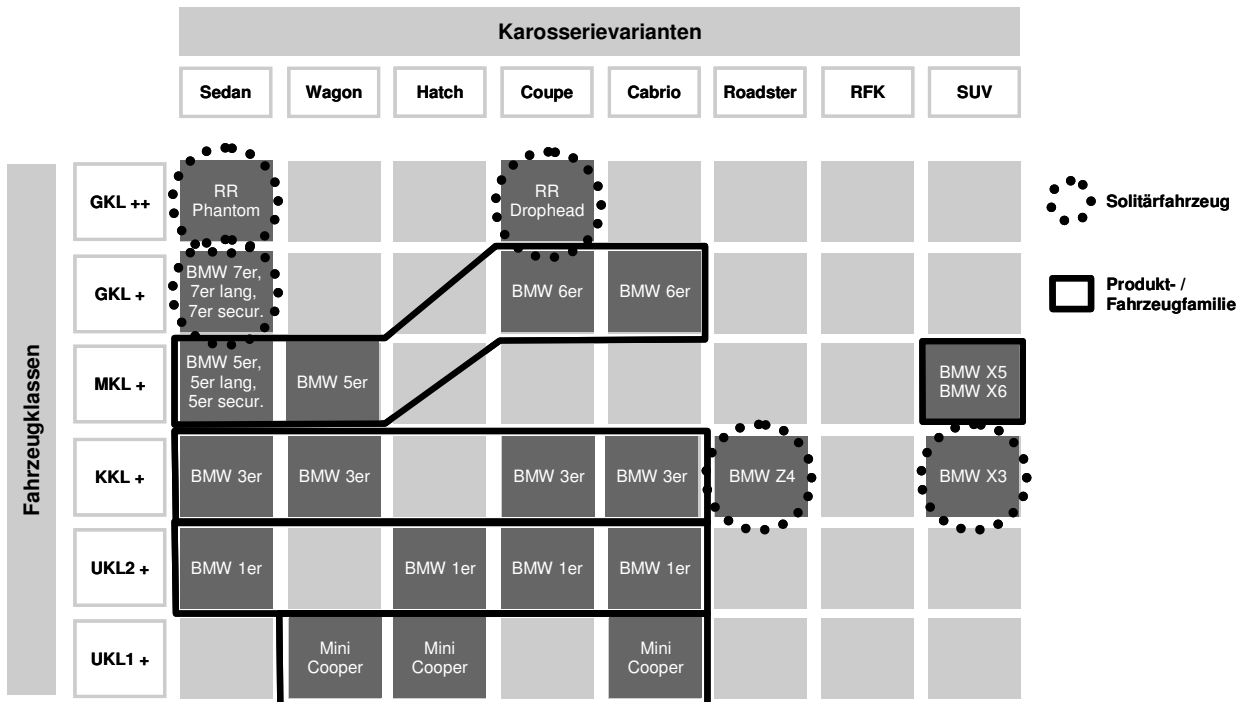


Bild 2-2: Produktportfolio der BMW Group 2008 [BMW]

*Solitärfahrzeuge* sind in diesem Zusammenhang als Fahrzeuge zu definieren, die aufgrund ihrer eigenständigen Fahrzeugeigenschaften und Karosserieproportionen nicht mit anderen Fahrzeugen in einer Produktfamilie verheiratet werden. Solitärfahrzeuge werden mit einer eigenen Entwicklungsmannschaft entwickelt und auf eigenen Produktionsanlagen hergestellt. Dieses Vorgehen stellt einen hohen Aufwand in der Realisierung dar, der durch entsprechende Margen und Absatzzahlen gerechtfertigt werden muss.

In den Modellreihen oder *Produktfamilien* werden hingegen Fahrzeugvarianten zu Gruppen zusammengefasst, die nach CORNET [21] von einem Unternehmen als verwandt betrachtet werden. So beinhaltet eine Produktfamilie in Erweiterung nach MEYER [94] eine Menge individueller Fahrzeuge, die auf Basis eines gemeinsamen Standardisierungsansatzes entwickelt und produziert werden und dennoch spezifische Eigenschaften und Funktionen besitzen.

## 2.2 Theoretischer Bezugsrahmen zu Fahrzeugfamilien

In der aktuellen Fachliteratur findet sich bereits eine sehr große Anzahl an theoretischen Arbeiten zur Marktsituation in der Automobilindustrie vor der Finanzkrise 2008/09, die die Notwendigkeit zur kundenwertigen Differenzierung der Produkte beschreiben (vgl. ADAM [2], JUNGE [63],



NILLES [95], PORTER [115]/[116], REINHARDT/ZÄH [115]) und die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf den Aufbau der Fahrzeuge erläutern (siehe CORNET [21], GÖPFERT [40], KRAUS [72], LINDEMANN [82], PILLER [112], SCHMIEDER [131], SIMPSON [136], WILHELM [155]). Aus diesem Grund sollen an dieser Stelle nur die wesentlichen Aspekte zum aktuellen Marktgeschehen, zu Produktordnungssystemen sowie zu Variabilität und Flexibilität beschrieben werden.

### 2.2.1 Aktuelle Wettbewerbssituation

Über den Erfolg eines Unternehmens entscheidet neben der Branchenaktivität die Wettbewerbsposition, welche das Unternehmen in seiner Branche einnimmt. Nach PORTER [116] können hierbei drei grundlegende Strategien zur Erlangung von Wettbewerbsvorteilen aufgeführt werden: Kostenführerschaft, Differenzierung und Fokussierung.

Die Strategie der *Kostenführerschaft* basiert auf der Erzielung von Kostenvorteilen gegenüber den konkurrierenden Wettbewerbern. Primäre Faktoren für diese Strategie sind hohe Stückzahlen, die durch Lernkurveneffekte und Betriebsgrößeneffekte sowie auch durch die Nutzung einer gestärkten Verhandlungsposition gegenüber Lieferanten eine Kostenführerschaft ermöglichen.

Durch die Strategie der *Differenzierung* über Qualität und Preis gegenüber den Konkurrenten kann sich der Anbieter in einem bestimmten Markt-Preis-Segment positionieren und verringert dadurch die Anzahl der Wettbewerber. Nach PORTER [115] kann ein Unternehmen aufgrund der Differenzierung im Stande sein einen Preiszuschlag durchzusetzen, größere Mengen eines Produkts zu einem bestimmten Preis abzusetzen und eine größere Kundentreue in Konjunkturlauten erreichen. Differenzierung führt aber nur zu Spitzenleistungen, wenn der höhere Preis über den zusätzlichen Kosten der Einmaligkeit liegt.

Im Gegensatz zur Kostenführerschaft und zur Differenzierung, die beide branchenweit anwendbar sind, ist die *Fokussierungsstrategie* auf ein einzelnes Marktsegment beschränkt. Ziel der Fokussierung ist es eine bestimmte, eng abgegrenzte Abnehmergruppe zu bedienen [95].

Mit dem Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt sehen sich die Premiumanbieter nun gezwungen, zusätzlich zur Differenzierungsstrategie mit Orientierung in ein Premiumsegment, die Kunden durch eine Vielzahl von individuellen Produkten zu locken. Die Diversifizierung der Produkte zeigt sich nicht nur in einer Explosion der Ausstattungsvarianten je Fahrzeugmodell, sondern auch in einer ausgeprägten Auslotung der noch möglichen Nischenmärkte. Die Besetzung von Nischen im Automobilmarkt erfolgt in den meisten Fällen durch die Schaffung neuartiger Fahrzeugkonzepte, die durch eigenständige Karosserieformen unterstrichen werden. Als Beispiel hierfür sind die Mercedes A-Klasse, die den gehobenen Sicherheitsanspruch des Premiumsegments mit einer großen Raumfunktionalität in einem Kleinwagen vereint, der BMW X6, der die Geländegängigkeit eines SUVs mit der Fahrdynamik und den Karosseriemerkmalen eines Sport-Coupés paart oder der Toyota Prius, der neuartige Hybridantriebe in der Karosserie mit geringen Aerodynamikwerten verbindet, zu nennen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht stellt sich nach WILHELM [155] das Erschließen von Nischenmärkten als besonders attraktiv dar, da es aufgrund der Alleinstellungsmerkmale ein konkurrenzfreies Angebot erlaubt. Dieses Vorgehen gestattet für einen Zeitraum höhere Absatzmengen, weil es keinen Wettbewerb gibt und der primäre Markt bedient werden muss. Es können somit höhere Preise erzielt werden, die sich in höheren Margen niederschlagen, weil sie in dieser Situation im Markt durchsetzbar sind.

Mit der Zunahme an Produkten und Produktvarianten nehmen aber die summierten Erlöse aller Produkte nach PILLER/WARINGER [111] nur unterproportional zu. Eine Erklärung dafür ist der sogenannte Kannibalisierungseffekt. Viele der Kunden, die eine neue Produktvariante kaufen, waren ehemals Käufer von Standardprodukten, die nach Gesichtspunkten der Kostenführerschaft

## 2. Differenzierte Karosserien in Produktfamilien

produziert wurden. Zwar können die Käufer bei der Marke gehalten werden und gegebenenfalls neue Kunden durch das Nischenprodukt für die Marke gewonnen werden, aber aufgrund der in **Kapitel 1** genannten Marktsättigung ist das Marktvolumen nicht beliebig vergrößerbar. Als Marktvolumen wird in diesem Zusammenhang die maximal mögliche Gesamtabsatzmenge aller Anbieter in einem bestimmten Markt verstanden. Mit jeder neuen Variante sinkt folglich nach PILLER die Zahl der potenziellen Kunden pro Variante [111]. Siehe hierzu **Bild 2-3**.

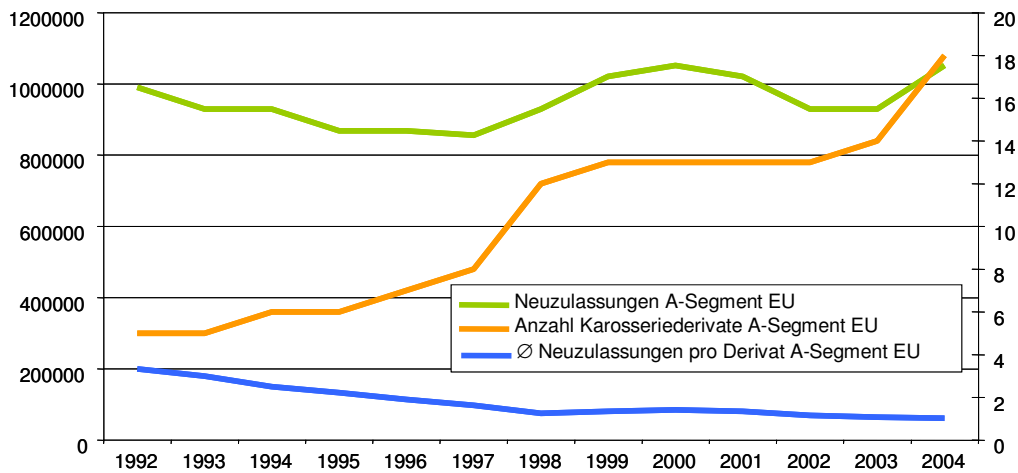


Bild 2-3: Entwicklung der Neuzulassungen der Volkswagen AG im A-Segment für Westeuropa, in Anlehnung an KROKER [27]

Als weitere Herausforderung der produktseitigen Differenzierung stellt sich die überproportional steigende Komplexität in der Entwicklung als auch in der Produktion der großen Anzahl an Produktvarianten dar. „In der Regel ist Differenzierung kostspielig“ [115]. Häufig ermitteln Unternehmen die Kosten für Differenzierung nicht ausreichend und so führt nach SCHMIEDER [131] die Steigerung der produktbezogenen Vielfalt und die daraus resultierende Variantenvielfalt zu einem Anwachsen der Produktprogrammkomplexität, die nach ADAM [2] über den anwachsenden Koordinationsbedarf Rückwirkungen auf die Kosten und Erlöse und damit auf die Gewinnlage des Unternehmens hat.

### 2.2.2 Variantenvielfalt und Komplexität

Wie bereits aufgezeigt, besteht der Hauptzweck der Bildung von Varianten darin, vor dem Hintergrund fragmentierter und heterogener Märkte, die Kundenorientierung zu verbessern [2] und so eine dem Wettbewerb überlegene Kundennutzenposition zu schaffen. Diesen Trend zu einer höheren Variantenvielfalt hat CORNET [21] für die Automobilindustrie am Beispiel der Hersteller Mercedes-Benz, Honda, Fiat und Volkswagen im Zeitraum von 1987 bis 1998 nachweisen können.

Die *Komplexität* eines Systems kann nach LINDEMANN [82] allgemein durch die folgenden Schlagworte beschrieben werden: Die Art und Verschiedenartigkeit von Elementen, deren Anzahl und Ungleichmäßigkeit sowie die damit einhergehende Komplexität in den Relationen, die Dynamik und Eigendynamik des Systems als auch die Art und Anzahl der möglichen Zustände, die das System einnehmen kann. In den Produkten führt diese Komplexität nach GÖPFERT [41] zu einem unüberschaubaren Gesamtkonstrukt aufgrund der hohen Zahl an technischen Komponenten und Beziehungen mit einer großen Anzahl an Interaktionseffekten zwischen den Komponenten, die zu langwierigen Entwicklungsprozessen führen. Hier kommt es oft zu einer unklaren Verteilung der Zuständigkeiten, was in einem hohen Koordinations- und Abstimmungsbedarf zwischen den einzelnen internen und externen Aufgabenträgern und Projektbeteiligten führt. Siehe hierzu KOLK [71], der am Beispiel der Entwicklung einer Stirnwand die Kom-

plexität in den Verknüpfungen zu den ca. 40 angrenzenden Baugruppen und den damit verbundenen Entwicklungsteams aufzeigt.

Nach ADAM [2] stellt die hohe Variantenzahl sämtliche Unternehmensbereiche, insbesondere die Produktion, die Logistik und die Beschaffung, vor große Koordinationsprobleme. Diese Probleme sind umso größer, je früher im Fertigungsprozess die Differenzierung der Varianten erfolgt (Variantenbestimmungspunkt). Viele der produzierenden Unternehmen geraten in diesem Umfeld in die so genannte *Komplexitätsfalle*. So führen die Ausgangsinvestitionskosten zu einem Anstieg der Stückkosten, denen häufig keine entsprechenden Zusatzerlöse gegenüberstehen. Damit führt eine vermeintliche Kundenorientierung zu sinkenden Erträgen [2]. Um die Zielerreichung für Entwicklungskosten, Entwicklungszeiten, Produktkosten und Produktleistung bei diesen Rahmenbedingungen gewährleisten zu können, müssen nach CORNET [21] die Unternehmen nach Wegen suchen, die Variantenvielfalt besser zu beherrschen.

Zentraler Ansatz für die Reduzierung der im Unternehmen vorhandenen Komplexität bei der Fertigung von stark differenzierten Produkten bilden die vier Leitlinien nach WILDEMAN [152]: „Standardisierung nach innen, Individualisierung nach außen, Stabilität der Struktur und Flexibilität in der Kombination“.

Der Lösungsansatz ist eine strikte Strukturierung der Produktarchitektur. Dies erfordert eine hohe *Standardisierung* in den für den Kunden nicht aktiv erlebbaren Bereichen durch den Einsatz geeigneter *Produktordnungssysteme*. Weiterhin sollten in den Produktionsstufen möglichst lange gleichartige Produkte gefertigt werden, deren Differenzierung erst in den letzten Fertigungsstufen vorgenommen wird. Die Koordinationsprobleme werden geringer, da in den vorgelagerten Produktionsschritten eine Fertigung nach den Gesichtspunkten einer Massenfertigung erfolgt [2].

Ziel für die Entwicklung einer Produktfamilie mit stark differenzierten Derivaten ist somit die Bildung von frühen Varianten im Karosseriebau auf ein Minimum zu reduzieren. Voraussetzung hierfür sind auf den Fahrzeugumfang der Produktfamilie abgestimmte Gleichteil- und Differenzierungsstrategien in der Bodengruppe, die eine hohe Standardisierung der Fertigungsschritte und gleichzeitig eine weite *Skalierbarkeit* in den Karosserieproportionen zulässt (siehe hierzu Kapitel 2.5.2). Die skalierten Karosserieanteile lassen aber eine Fließfertigung, wie sie in der tayloristischen Massenproduktion die Regel war, nur zu, wenn die Fertigungssysteme hoch integrierte und flexible Maschinen vorsehen, die mit den unterschiedlichen fertigungstechnischen Gegebenheiten der spezifischen Umfänge der Derivate zu Recht kommen.

### 2.2.3 Standardisierung

Im Rahmen des Variantenmanagements stellen die Standardisierung und Normierung von Bauteilen oder Prozessen wirkungsvolle Maßnahmen zur Handhabung der Vielfalt dar. Nach KIENZLE bedeutet hierbei Normung das einmalige Lösen eines sich wiederholenden technischen oder organisatorischen Vorgangs mit optimalen Mitteln des Stands der Technik. EHRENSPIEL [30] definiert im Weiteren drei unterschiedliche Ebenen für Normierungen und Standardisierung:

- Überbetriebliche nationale und internationale Standards (DIN, ISO).
- Innerbetriebliche Normen und Standards.
- Allgemein einsetzbare Lösungskataloge und sonstige Vorschriften, sowie systematische bzw. einheitliche Wissensdarstellung.

Wie in den Ausführungen von RENNER [119] soll auch in dieser Arbeit die Begriffsbestimmung nach JESCHKE [63] gelten in der die Normierung als eine Maßnahme zur Standardisierung definiert wird. Im Weiteren definiert JESCHKE drei Arten der Standardisierung:

## 2. Differenzierte Karosserien in Produktfamilien

- **Produktstandardisierung:**  
Maßnahmen in unterschiedlichen Unternehmensbereichen, welche die Vereinheitlichung bzw. die Reduzierung der Vielfalt von Produkten und Einzelteilen bezwecken.
- **Technologiestandardisierung:**  
Maßnahmen, welche die Vereinheitlichung der technologischen Einrichtungen sowohl in den direkten als auch indirekten Bereichen bezwecken.
- **Prozessstandardisierung:**  
Maßnahmen in unterschiedlichen Unternehmensbereichen, welche die Vereinheitlichung der Aufbau- und Ablauforganisation bezwecken.

In Bezug auf die vorliegende Arbeit soll die Konstruktion und Bewertung von Karosseriederivaten in Produktfamilien im Sinne eines *allgemein einsetzbaren Lösungskatalogs* durch eine standardisierte CAD-Technologie erfolgen. Basis hierfür bilden *Produkt- und Prozessstandardisierungen* für die Karosserien der Produktfamilien, die auf einer Standardisierung der Architektur für die einzelnen Fahrzeuge der Produktfamilie beruhen. Als Architektur eines Fahrzeugs werden in diesem Zusammenhang die räumliche Anordnung der Aggregate und die sich daraus ergebende Anordnung der Tragstruktur der Karosserie verstanden.

Die Festlegung standardisierter Topologien der Tragstrukturen<sup>1</sup> in den Karosseriebodengruppen ermöglicht für alle Derivate eine weitgehende Standardisierung der Produktion. Im Detail wird angestrebt durch einen standardisierten Bauteilumfang mit einer standardisierten Bauteilgestaltung eine Reduzierung der Werkzeuge in der Blechumformung zu erzielen und durch eine standardisierte Gestaltung der Fügeverfahren sowie der Fügestellen (Flanschlagen) eine derivatübergreifend-typflexible Fertigung der Karosserien im Karosseriebau zu ermöglichen. Hierdurch werden produktfamilienübergreifend in den standardisierten Bereichen der Karosserien die Produkt- und Produktionskomplexität als auch die damit einhergehenden Kosten gesenkt.

### 2.2.4 Skalierung und Flexibilität

Zur Darstellung der geforderten Individualität der Fahrzeugprojekte ist es notwendig stark differenzierte Fahrzeugkarosserien auf den Markt zu bringen, die sich deutlich in ihren Proportionen unterscheiden (vgl. **Abschnitt 1.1 & 2.2.1**). Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, ist es aber für eine wirtschaftliche Fertigung von Fahrzeugfamilien unerlässlich, strikte Standards für Produkt und Produktion innerhalb einer Produktfamilie zu erlassen.

Im Unterschied zu der anfangs in **Kapitel 2** geschilderten Ableitung von Derivaten mit unveränderten Proportionen im Karosserieboden erfordert die kundenwirksame Differenzierung der Fahrzeugproportionen eine Skalierung einzelner Bauteilumfänge in der Bodengruppe. In diesem Spannungsfeld aus Standardisierung und derivatspezifischer Individualisierung ist es notwendig auf Produktseite eine Skalierung der Proportionen der Karosseriebauteile derart vorzunehmen, dass diese Bauteile auf Produktionsseite durch flexible Anlagen in einen standardisierten Prozess eingeflochten werden können. Die Skalierung dieser Bauteilumfänge hat somit nach den Gesichtspunkten einer standardisierten Fertigung im Karosseriebau zu erfolgen. In Summe ergeben sich durch diese Kombination von produktfamilienübergreifenden Gleichteilen

---

<sup>1</sup> Die Topologie einer Tragstruktur beschreibt den Verlauf der karosseriefesten Träger in den spezifischen Bauräumen eines Fahrzeugs.

und skalierten Individualteilen die geforderten Proportionsänderungen in den Maßketten der jeweiligen Gesamtfahrzeugderivate.

Ein Maschinenkonzept kann in diesem Zusammenhang nach ADAM [2] flexibel genannt werden, wenn es einen weitgehend rüstzeitfreien Wechsel der Bearbeitungsfunktionen erlaubt. Die Rüstkosten der flexiblen Anlagen sind dabei im Gegensatz zu einer starren Fertigungsapparatur gering zu halten. Voraussetzung hierfür ist trotz der Flexibilität in den Produktionsprozessen und in den Strukturen die Produktivität einer Massenproduktion zu erreichen. In diesem Fall spricht SCHMIEDER [131] von „Economies of Integration“. Dabei werden die gegenläufigen Effekte der „Economies of Scale“ und der „Economies of Scope“ mit einander verknüpft. Das Ziel ist eine Massenfertigung auf flexiblen Anlagen bei denen die Rüstkosten nahezu unabhängig von der gefertigten Menge sind. Die optimale Losgröße kann gegen „eins“ angenähert werden und erlaubt für die Fertigungsplanung eine maximale Flexibilität [131]. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus der Betrachtung auf flexiblen Produktionsanlagen und –prozessen in der Blechumformung und im Karosseriebau (siehe hierzu **Kapitel 2.5.**)

Vor dem Hintergrund von skalierten Karosseriederivaten in Produktfamilien deren Entwicklung und Produktion auf flexiblen Produktionsanlagen eine definierte Koordination der standardisierten, skalierten und differenzierten Bauteile erfordert, wird die Forderung nach geeigneten *Produktordnungssystemen* für die Aufbau-logik der Produktfamilienderivate abgeleitet.

### 2.2.5 Produktordnungssysteme

Mit der Einführung von Plattformen, baureihenübergreifenden Gleichteilen sowie Baukästen, räumlich integrierten Modulen und funktionsintegrierten Systemen stehen nach BECHHEIM [10] erweiterte Ansätze zur Reduzierung der im Unternehmen vorhandenen Komplexität zur Verfügung. Die Praxis zeigt aber, dass der Bedarf nach einem Gesamtkonzept besteht mit dem die Komplexität einzelner Produkte als auch im Produktprogramm beherrscht werden kann. An diesem Punkt setzen Produktordnungssysteme an, die den Widerspruch zwischen Standardisierung und Individualisierung im Produktangebot lösen.

#### Baukasten

Das Baukastenprinzip beruht auf der Kombination von Bausteinen aus einem definierten Vorrat zu einem komplexen Gebilde. [...] Nach EHRENSPIEL [30] ist ein Baukasten ein Kombinationssystem von Bauteilen und Baugruppen unterschiedlicher oder gleicher Funktion und Gestalt. Der Baukasten dient in der klassischen Konstruktionslehre zur Einschränkung von laufenden Sonderkonstruktionen und der damit verbundenen Variantenvielfalt. Für KOHLHASE [70] besteht ein Baukastensystem aus einer Anzahl von Bausteinen, die anwendungsspezifisch ausgewählt und unter Beachtung von Verträglichkeiten miteinander kombiniert werden, um in einem begrenzten Anwendungsbereich Baukastenprodukte zu konfigurieren. Weiterhin definiert KOHLHASE [70] in seinen Ausführungen unterschiedliche Arten von Baukästen. Die für das weitere Verständnis der Arbeit relevanten Baukastenarten sollen im Folgenden erläutert werden.

Personenkraftwagen mit ihren kundenspezifischen Ausführungen und Ausstattungen sind als *Herstellerebaukasten* zu verstehen. Dieser Herstellerebaukasten (das Fahrzeug) wird vom OEM in der Produktion fertig konfiguriert und kann vom Nutzer nach der Auslieferung nur mit erschwerendem Aufwand nachträglich verändert werden. Die einzelnen Ausstattungsmerkmale wie unterschiedliche Motorisierungen oder Sonderausstattungs Pakete sind hierbei als *strukturgebundene Baukästen* zu verstehen. Die Bausteinvarianten sind laut Definition für bestimmte Funktionen strukturgebunden an festen Verbauorten vorgesehen.

Gemäß HERLYN [53] waren bereits in den 1990er Motoren, Getriebe oder Sitze aufgrund ihres

## 2. Differenzierte Karosserien in Produktfamilien

großen Rationalisierungspotentials den Wiederhol- oder Baukastenteilen zuzurechnen. Die strukturgebundenen Baukasten-Komponenten aus Antrieb, Fahrwerk, Interieur und Karosserie werden daher in den weiteren Ausführungen zusammenfassend als *Komponenten-Baukasten* definiert. Abhängig von der Fahrzeugarchitektur und der Fahrzeugklasse enthält dieser Komponenten-Baukasten einen produktfamilispezifisch fest definierten Umfang an standardisierten Komponenten (Bausteinen).

### Modularisierung

Nach NILLES [95] beruht die Modulstrategie auf der Zerlegung eines Produktes in kleinere, autonome Einheiten. Die Produkte des Produktionsprogramms werden in Module unterteilt. Häufig wird der Modulbegriff auch als Synonym für die Baukastenstrategie benutzt. Die Modularisierung ist eine weiterführende Strategie, die sich als Lösungsansatz zur Komplexitätsbewältigung im Spannungsfeld zwischen Differenzierung und Standardisierung in den Unternehmen bewiesen hat und laut KLEPSCH [68] folgerichtig weiterverfolgt wird. In **Tabelle 2-1** sind nach NILLES [95] einige Definitionen für Modularisierung und deren Anwendung aufgeführt, um eine Übersicht über das Anwendungsspektrum der Modularisierung zu geben.

Tabelle 2-1: Sammlung von Definitionen für Modularisierung nach NILLES [95]

Autor	Definition
Schuh/Caesar [132]	"Module sind Baugruppen, deren Vormontageumfang deutlich größer als ihr Einbauumfang in die übergeordnete Baugruppe ist."
Koller [72]	Module zeichnen sich dadurch aus, dass sie "...gleiche Schnittstellen besitzen und an verschiedenen Stellen (Orten) des Systems angebracht (getauscht) werden können..."
Mayas [88]	"Module sind...vormontierbare und weitestgehend vorprüfbare Baugruppen mit standardisierten Schnittstellen."
Göpfert [40]	"Module sind relativ unabhängige Subsysteme."
Foth [34]	"...Module sind Baugruppen oder Aggregate, die als montagefähige Einheit an Kunden geliefert werden."
Salein [131]	"Ein Funktionsmodul ist eine abgegrenzte funktionale Einheit eines Gesamtsystems (Produkt)."
Arnold [6]	Module sind "...fremdbezogene Erzeugnisse, die während des Produktionsprozesses ohne wesentliche Be- bzw. Verarbeitungsgänge in die Endprodukte eines beschaffenden Unternehmens eingehen bzw. zu solchen verbaut werden."
Dencker [24]	"Module sind größere, in sich abgeschlossene Funktionseinheiten..., die am Montageband komplett montiert werden können."
Piller/Waringer [111]	"Unter einem Modul wird eine nach Montageaspekten abgrenzbare und einbaufertige Einheit verstanden, deren Bausteine physisch miteinander verbunden sind."

Für die weitere Verwendung der Begrifflichkeit zu Modularität soll in dieser Arbeit der Bezug auf Produktarchitekturen nach GÖPFERT [40] verstanden werden. So zeichnet sich eine modulare Systemarchitektur durch relativ autonome Subsysteme aus. Ein Modul kann somit als ein spezielles Subsystem definiert werden, dessen interne Beziehungen sehr viel stärker ausgeprägt sind als die Beziehungen zu anderen Subsystemen und das von Veränderungen auf höheren und niedrigeren Systemebenen weitgehend unabhängig ist.

In der Automobilindustrie haben sich spezielle Entwicklungstrends für den Einsatz von Modulen als sogenannte Integrationsmodule durchgesetzt. Nach DIETRICH [25] steht bei Integrationsmodulen nicht die Kombinierbarkeit und Austauschbarkeit im Vordergrund, sondern die Beherrschung der Komplexität durch Verlagerung von Montageinhalten in möglichst unabhängige Module mit definierten Schnittstellen, die separat entwickelt, vormontiert, angeliefert, geprüft und ins Endprodukt eingebaut werden können.

## Modularisierung von Karosserien

In Bezug auf die Modularisierung von Karosserien legt KLEPSCH [68] Rohbaumodule fest, die sich aus den Schnittstellen im Außenhaut- und Karosseriebereich ergeben. Als die vier gängigsten Rohbaumodule werden Vorderbau, Zelle, Dach und Heck angeführt. Den fahrzeugformgebenden und somit kundenrelevanten Elementen z. B. Zelle und Dach kommt dabei in Bezug auf eine kundenwirksame Differenzierung der Fahrzeuge eine besondere Bedeutung zu. KROKER [82] spezifiziert den karosseriebezogenen Modulbegriff weiter: Demnach enthalte ein Modul stets Teile der tragenden Struktur. Besteht es ausschließlich aus Strukturelementen, so soll es als Rohbaumodul bezeichnet werden. Siehe in diesem Zusammenhang **Kapitel 2.3.2** „Karosseriebauweisen und Werkstoffe“.

Das reine Zusammensetzen von Rohbaumodulen führt zu einer modularisierten Karosserie [82]. Rohbaumodule oder modularisierte Karosserien stehen in der Automobilindustrie und an den Hochschulen in letzter Zeit vermehrt im Fokus der Forschung. Als Beispiele seien in diesem Zusammenhang das Vario Research Car basierend auf dem Patent DE 29510120 (in [5], [49], [82]), das darauf aufbauende MoCar-Projekt in FRIEDRICH [37] sowie der Smart for Two von Mercedes (siehe [50]), Ansätze zur Modularisierung von Karosserien im Forschungsprojekt Faszination Karosseriebau der TU Braunschweig nach BRÜGGEMANN [19], CRULL [22] und EILERT [29], das Mosaic Projekt von Opel [49] und der revolutionäre Modularisierungsansatz von BMW nach DIETRICH [25] genannt. Alle diese Forschungsprojekte haben gemein, dass durch die Modularisierung versucht wird eine höhere Standardisierung in den Karosserien zu realisieren. In den meisten der Forschungsprojekte wird von den konventionellen Aufbaufolgen und Fügeverfahren im Karosseriebau abgewichen, um einen optimalen Nutzen aus der Modularisierung ziehen zu können.

Die Überlegungen dieser Forschungsansätze werden in dieser Arbeit in Auszügen bezüglich der Differenzierung von Karosserien mit aufgegriffen. Die strikte Unterteilung der Karosserien in einen festen Umfang von standardisierten Modulen ist jedoch nicht Fokus dieser Arbeit. Es wird primär eine Entwicklungslogik für eine *variable Karosserieplattform* betrachtet, die auf der Kombination von standardisierten, skalierten und spezifischen Karosseriebauteilen basiert, die im Karosseriebau unlösbar miteinander verbunden werden.

## Plattform

Die Modularisierung als gestalterischer Ansatz der Produktstrukturierung ist laut HOFER [55] eine Voraussetzung für den Einsatz des Plattformkonzepts. Auch NILLES [95] sieht die Plattformstrategie als eine Weiterentwicklung der Modul- bzw. Systemstrategie mit dem Ziel, Standardisierungseffekte durch den Einsatz einer stabilen Basis zu erzielen.

Um das Plattformkonzept von einer modularen Produktarchitektur zu unterscheiden, leitet CORNET [21] wesentliche Aspekte einer Plattform ab. So haben Plattformen in der Regel einen erheblichen Anteil am Kostenumfang des Gesamtproduktes und beinhalten bevorzugt Komponenten und Module, die für den Kunden nicht sichtbar sind. Die Modelle und Varianten, die auf Basis einer Plattform entwickelt werden, sind bereits bei der Plattformentwicklung zu planen. Als strategische Zielsetzung von Plattformkonzepten ist somit die effiziente Realisierung von hoher Variantenvielfalt und schnellen Modellwechseln anzusehen.

In der Automobilindustrie und in der Literatur sind viele verschiedene Beschreibungen und Definitionen für den Begriff der Plattform zu finden. Diese beziehen sich auf die Plattform selbst als auch auf den Umfang an physischen Baugruppen und abstrakten Organisationsaspekten die eine automobiler Plattform umfassen. Für die Beschreibung der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten *skalierbaren Karosserieplattform* sollen nachfolgend die wesentlichen Aspekte zusammengetragen werden.

Nach MEYER/LEHNERD [94] kann der Begriff des Plattformkonzepts wie folgt verstanden werden: „...a set of subsystems and interfaces that form a common structure from which a stream of derivative products can be efficiently developed and produced“. Diese Definition zeigt durch die Begriffe „subsystems“ und „interfaces“ eine relativ enge Bindung an die physischen Elemente eines Produktes und soll nach CORNET [21] als „Plattform im engeren Sinne bezeichnet“ oder nach SCHMIEDER [131] als „zweckgebundener Plattformansatz“ verstanden werden. Ein Verständnis der Plattform, das auch nicht physische bzw. abstrakte Elemente wie z. B. Organisationen oder Kompetenzen mit einschließt (die „Plattform im weiteren Sinne“ [21] oder „abstrakter Plattformansatz“ [131]), wird in den weiteren Ausführungen nicht zum Tragen kommen.

In Abhängigkeit, ob eher die physischen Elemente einer Plattform oder die zugrunde liegenden Erstellungsprozesse im Vordergrund stehen, kann zwischen einer Produktplattform und einer Prozessplattform unterschieden werden [21]. In Abschnitt 2.4 wird unter dem Begriff der *Kommunalität* auf diesen Aspekt der Plattform eingegangen. Die Zuordnung eines Fahrzeugprojekts zu einer Produkt- oder einer Prozessplattform ist dabei in Abhängigkeit der Entwicklungs- und Produktions-Philosophie des jeweiligen Herstellers zu tätigen. Aus den Wettbewerbsanalysen im Rahmen dieses Forschungsprojekts lässt sich die Tendenz ableiten, dass europäische und amerikanische Premiumhersteller eher die Belange der Produkte bei einer Plattformentwicklung in den Vordergrund stellen. Asiatische Premiumhersteller sehen in diesem Zusammenhang eher die Belange einer standardisierten Produktion im Vordergrund. Zusammenfassend ergeben sich nach SCHMIEDER [131] durch Plattformkonzepte massive Konsequenzen aus produktionstechnischer Sicht. So müssen durch die gemeinsame Produktions- und Montagearchitektur aller Plattformderivate die Produktionsressourcen sowie Technologien und Anlagen auf eine gemeinsame Basis gestellt werden, um durch die Verwendung von Gleich- oder Carry-Over-Teilen möglichst hohe Skaleneffekte zu erzielen.

Je nachdem, ob eine Plattform für Modelle unterschiedlicher Marken in einem Konzern oder für unterschiedlich positionierte Modelle einer Marke eingesetzt ist, wird nach CORNET zwischen horizontalen und vertikalen Plattformen unterschieden [21]. Hier treten auch häufig Mischformen auf. In **Kapitel 2.4** wird auf diesen Aspekt der Plattformstrategie detailliert eingegangen. So wird zur *horizontalen* und *vertikalen Ableitung von Derivaten in Produktfamilien* [138] ergänzend die *Markenableitung* und die *multidirektionale Ableitung* definiert.

Nach SCHMIEDER [131] ist es das Ziel des Plattformkonzepts den Ansprüchen vieler Marktsegmente gerecht zu werden und dabei die Unternehmensressourcen bestmöglich zu nutzen. Seiner Ansicht nach haben dabei die Plattform und der Differenzierungsanteil funktional unabhängig zu sein. Die Plattform muss alle funktionalen und physischen Voraussetzungen für alle Varianten bieten. Er sieht hier die Herausforderung in der Suche nach der richtigen Balance zwischen den Gleichteilen des Plattformanteils und der Unterscheidungsmöglichkeit durch den Differenzierungsanteil. Auch Cornet [21] sieht es als notwendig an, dass die Grundfunktionalitäten des Produktes vollständig durch die Plattformmodule realisiert werden und dass Änderungen an einem Hutmodul die Grundfunktionalität nicht beeinflussen dürfen. Es muss also eine funktionale Unabhängigkeit vorliegen. Für ein einheitliches Verständnis soll in dieser Arbeit der Begriff Plattform in Anlehnung an WILHELM [155] als ein technikgetriebener Teileumfang mit untergeordneter Kundenwahrnehmung bezeichnet werden. Gemäß den vorherigen Ausführungen erfolgt über definierte Schnittstellen eine Zweiteilung des Produkts in eine Plattform und einen Individualteil (vgl. **Bild 2-4**).



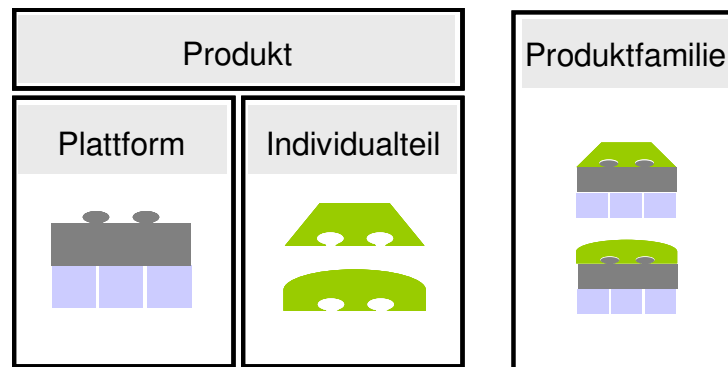


Bild 2-4: Klassische Zweiteilung des Produkts in Plattform und Individualteil.

In Abhängigkeit der Stückzahlen sind in der Automobilindustrie unterschiedliche Vorgehensweisen für die Entwicklung von Plattformen bzw. der Produktfamilienbasis entstanden. Für sehr große Stückzahlen wird die Entwicklung der Plattform als einständiger Entwicklungsumfang abgeschlossen und vor die Entwicklung der einzelnen Derivate gezogen. Für kleinere Produktfamilien wird die Plattform oder *Produktfamilienbasis* bestehend aus dem Komponenten-Baukasten für Antrieb, Fahrwerk sowie Interieur und der Bodengruppe aus der Entwicklung des Volumenmodells ausgeleitet. Im Entwicklungsprozess der Produktfamilie wird diese *Produktfamilienbasis* in Abfolge der Anlauftermine an die Derivate übergeben, worauf diese entsprechend der spezifischen Funktion, Topologie, Positionierung der Insassen und des spezifischen Designs ein neues Karosseriegerippe mit Interieur erhalten [138] (siehe **Bild 2-5**).

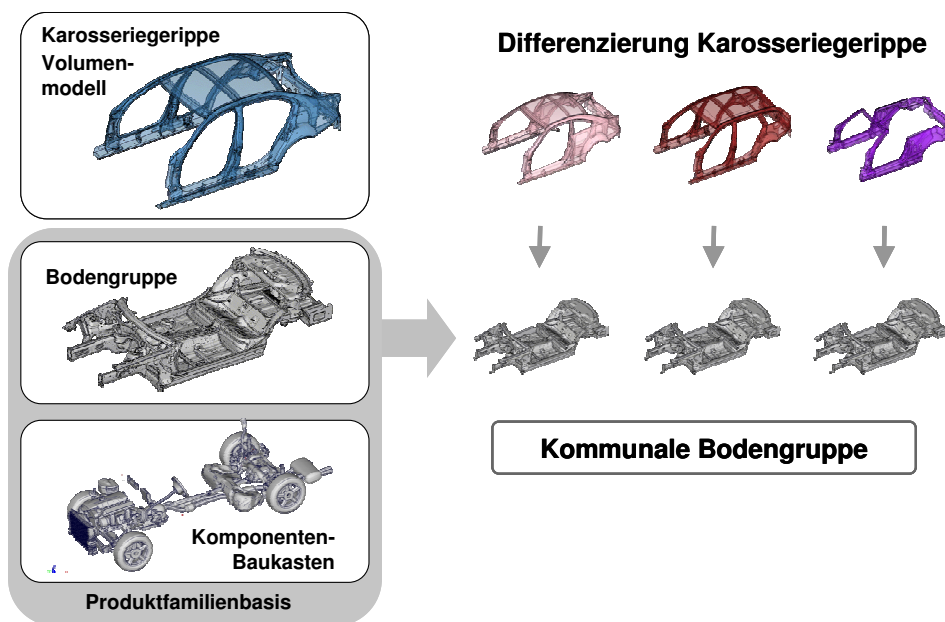


Bild 2-5: Standardisierte Bodengruppen in Produktfamilien [138].

Im Detail erfordert dies einen hohen Entwicklungsaufwand, da jedes Derivat durch seine spezifische Topologie im Karosseriegerippe zum Teil deutlich unterschiedliche Anforderungen an die Karosseriebodengruppe hinsichtlich der Funktionen Steifigkeit, Crash und Dauerfestigkeit stellt. Vor allem die Fahrzeuge mit einer geöffneten Dachstruktur wie ein Touring mit Panoramadach oder ein Cabriolet haben nach AHLERS [4] höhere Anforderungen an die Karosseriebodengruppe als eine Limousine oder ein Coupé. Diesen zusätzlichen Anforderungen wird in der Konstruktion durch derivatspezifische Umfänge in der Bodengruppe in Form von zusätzlichen Verstärkungen, Trägern, Schubfeldern oder Strebensystemen begegnet. In der aktuellen Entwicklung von Produktfamilien werden daher nach BRAUNSPERGER in der frühen Phase die Entwick-

lungsprozesse aller Derivate im Sinne eines Front-Loading parallelisiert [16], um den Änderungsaufwand in späten Phasen zu reduzieren. Das Ziel der Entwicklung von Plattformen und Produktfamilien ist es, trotz zum Teil geringer Stückzahlen der einzelnen Derivate Skaleneffekte durch standardisierte Prozesse in der Entwicklung, im Einkauf, in der Logistik und in der Fertigung zu erzielen.

### Skalierbare Plattformen

An diesem Punkt der Entwicklung starrer Plattformkonzepte wird es in Zukunft ein Umdenken geben müssen und hat es bereits gegeben. So werden in Zukunft vermehrt *skalierbare Plattformkonzepte für Produktfamilien* entstehen, die gemäß den Ausführungen in dieser Arbeit dem Kunden eine maximale Individualität in den Fahrzeugproportionen der einzelnen Derivate bieten und den Hersteller trotzdem durch eine hohe Standardisierung von Produkt- und Produktion entlasten.

Ergänzend zu den allgemeinen Definitionen in der Literatur wird nun entsprechend den Anforderungen dieser Arbeit an *Standardisierung bei gleichzeitiger Skalierbarkeit* folgende Definition vorgenommen: Der technikgetriebene Produktumfang wird als *skalierbare Plattform* definiert und in einzelne Bestandteile weiter herunter gebrochen. Dies sind der *Plattformkern*, der *Skalierungsanteil* der Plattform und der bereits beschriebene *Komponenten-Baukasten* (siehe **Bild 2-6**).

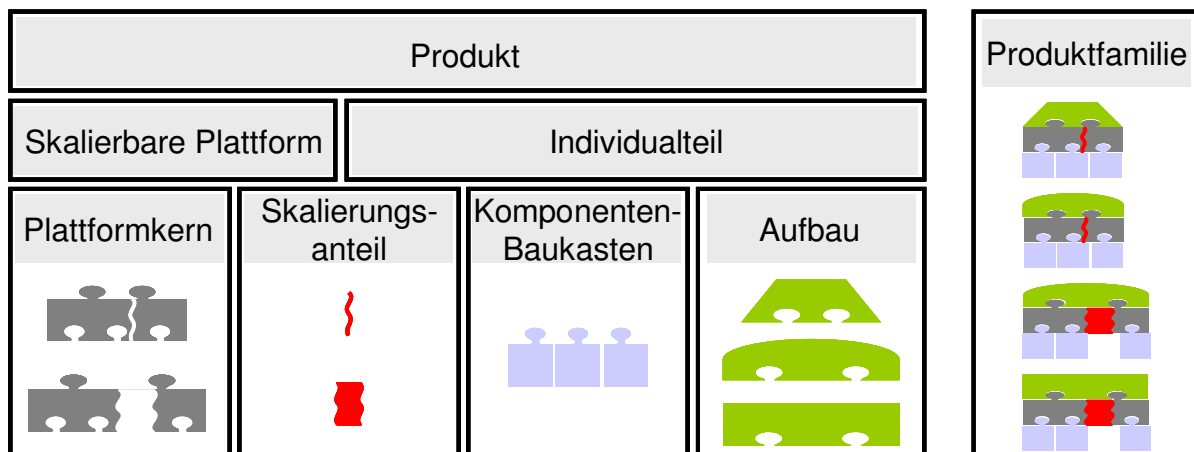


Bild 2-6: Teilung des Produkts in Skalierbare Plattform und Individualteil.

Der karosserieseitige Plattformkern wird entsprechend den Definitionen einer klassischen Plattform in allen Produkten der Produktfamilie unverändert verwendet. Dabei erlaubt der Plattformkern eine Integration der Komponenten aus dem Komponenten-Baukasten über standardisierte Schnittstellen. Diese standardisierten Schnittstellen begünstigen eine funktionale und geometrische Variation der Komponenten aus Antrieb, Fahrwerk, Interieur und Karosserie und ermöglichen somit eine optimale Individualisierung der Derivate hinsichtlich ihrer Produktleistung. Für die Erzeugung unterschiedlicher Proportionen der Derivate in der Produktfamilie erfolgt eine Streckung oder Skalierung der karosserieseitigen Plattformbauteile über den Skalierungsanteil. Dieser Skalierungsanteil besteht aus fertigungstechnisch standardisierten Bauteilen der Plattform, die in unterschiedlicher geometrischer oder funktionaler Skalierung mit Hilfe von standardisierten Schnittstellen in die Struktur des Plattformkerns eingepasst werden können. Für die Gestaltung des Aufbaus (des Karosseriegerippes) ermöglicht dieses Vorgehen eine weitreichende kundenwirksame Individualisierung der skalierten Derivate, die auf Basis einer klassischen Plattform in dieser Ausprägung nicht realisiert werden könnte.

Diese Definition einer skalierbaren Plattform basiert auf den Erkenntnissen aus den empirischen Wettbewerbsanalysen im Rahmen dieses Forschungsprojekts (vgl. **Abschnitt 2.4.1**). Wie

in den Ausführungen in **Kapitel 2.4.3** ausführlich beschrieben wird, lassen sich herstellerübergreifend ähnliche Tendenzen für die Gestaltung von skalierbaren Karosserieplattformen ableiten. So zeigen sich trotz herstellerspezifischer Ausprägungen in der Gestaltung dieser skalierten Plattformen, *standardisierte Plattformbereiche*, die für alle Derivate der Produktfamilie standardisiert aufgebaut sind und *skalierbare Plattformbereiche*, die eine Differenzierung der Proportionen in den Derivaten der Produktfamilie erlauben. Weiterhin zeigen diese Analysen, dass der Plattformumfang an Komponenten aus Antrieb, Fahrwerk, Interieur und Karosserie nicht mehr starr eingeschränkt ist, sondern dass auch hier eine Skalierung der Komponenten möglich ist. Voraussetzung hierfür bilden standardisierte Schnittstellen in der Plattform, die den Verbau der skalierten Komponenten ermöglichen.

Für eine nachhaltige Entwicklung solcher skalierbaren Plattformkonzepte ist es unerlässlich schon in sehr frühen Phasen des Entwicklungsprozesses einen hohen Wissenstand über die verschiedenen Anforderungen der einzelnen zu differenzierten Derivate an die skalierbare Plattformbasis zur Verfügung zu haben. An diesem Punkt setzt die vorliegende Arbeit an und versucht durch die Entwicklung einer Methodik für die geometrische Ableitung und Bewertung von Pkw-Karosseriederivaten in Produktfamilien in frühen Entwicklungsphasen die Entwickler und Entscheidungsträger gezielt zu unterstützen.

### Produktordnungssystem - Produktfamilie

Allgemein betrachtet, dient der Begriff der Produktfamilie oder Produktlinie nach CORNET [21] zur Gruppierung der von einem Unternehmen hergestellten Varianten die von diesem als verwandt betrachtet werden. Genauer beinhaltet eine Produktfamilie nach MEYER [94] eine Menge individueller Produkte, die auf einer gemeinsamen Basis aufbauen und dennoch spezifische Eigenschaften und Funktionen besitzen. Die Produktfamilie leitet sich somit aus den strikten Definitionen der Plattform ab. In einer Produktfamilie kann die Kommunalität bzw. der Verwandtschaftsgrad der Fahrzeuge zur Basis weiter gespannt sein und entspricht somit den für diese Arbeit notwendigen Anforderungen an eine skalierbare Plattform.

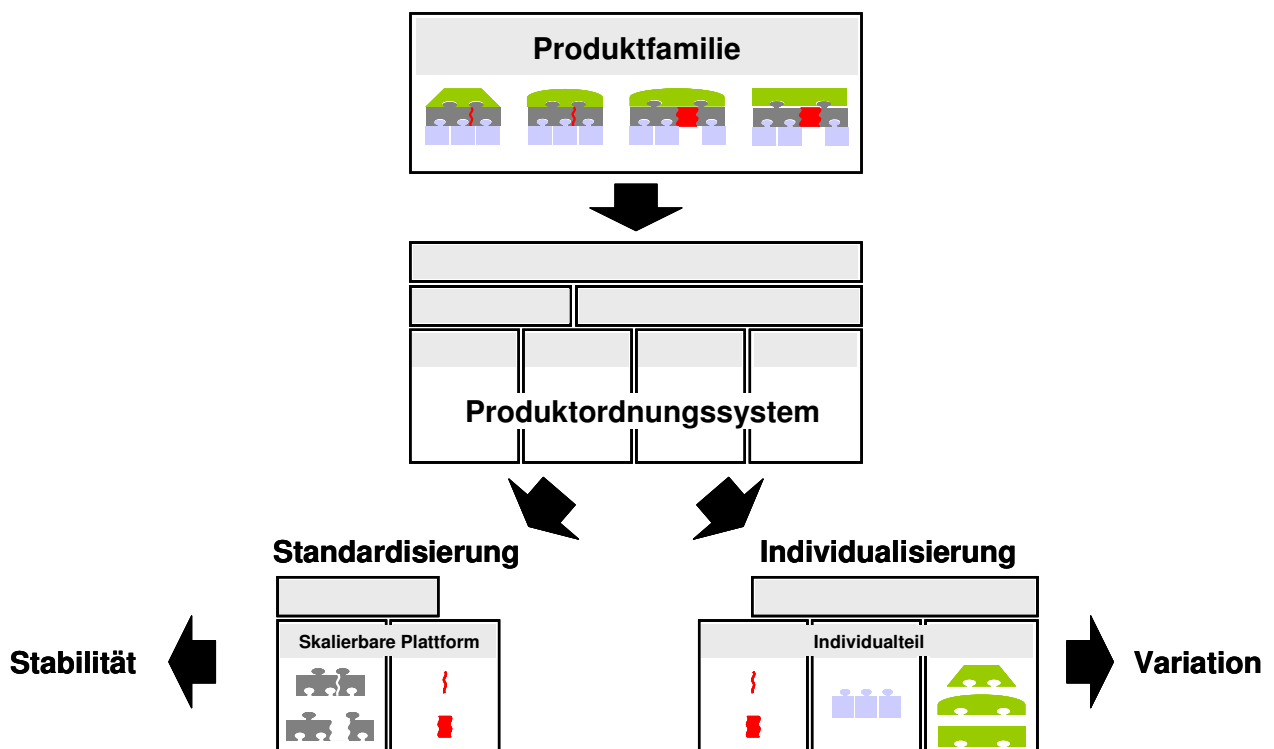


Bild 2-7: Produktordnungssystem - Produktfamilie auf Basis einer skalierbaren Plattform.

Für die Verdeutlichung des in dieser Arbeit gewählten Ansatzes eines Produktordnungssystems werden die Ausführungen zu Produktfamilien nach HOFER [55] in modifizierter Form herangezogen. Die folgenden Zusammenhänge werden in **Bild 2-7** verdeutlicht.

Die Plattform (hier: *skalierbare Plattform*) stellt als gemeinsamer Teil der Produktfamilie eine zusätzliche Hierarchiestufe dar, indem sie einzelne Produktelemente einem standardisierten und einem individuellen Produktteil zuordnet. Ziel der zusätzlichen Hierarchiestufe ist einerseits die Stabilisierung einzelner Elemente und andererseits die Sicherstellung der effizienten Variation und Evolution der Produktfamilie durch die individuellen und skalierten Elemente. Die skalierbare Plattform dient als gemeinsamer Nenner oder Rückgrat der Produktfamilie.

Die Fahrzeugproduktfamilie wird somit in einen *Standardisierungsanteil* und einen *Individualisierungsanteil* segmentiert. Der *Plattformkern* mit seiner *Schnittstellensystematik* und die Produktionslogik im *Skalierungsanteil* bleiben bei diesem Ansatz innerhalb der gesamten Familie strikt konstant. Den Anforderungen an Varianz und Dynamik des Leistungsangebots wird mit den skalierbaren Bauteilen im *Skalierungsanteil* und den individuellen Lösungen des *Komponenten-Baukastens* sowie dem individuellen *Aufbau* der Derivate begegnet. Die einzelnen Produkte (Derivate) einer Produktfamilie setzen sich somit aus dem Plattformkern, skalierten Standardelementen und einer Variation der individuellen Elemente zusammen. Hierbei stellt die skalierbare Plattform das Rückgrat für die Anzahl aller verwandten Produkte in der Produktfamilie. Die Standardisierungs-Elemente der Plattform bleiben somit stabil, während die Individualisierungs-Elemente zur Variation der Produkte innerhalb der Produktfamilie verwendet werden. Dieses Produktordnungssystem bildet die notwendige Grundlage für eine wirtschaftliche Fertigung variantenreicher Karosseriederivate in Produktfamilien.

### 2.2.6 Fazit

Wie aus der Literatur hervorgeht, haben sich viele Autoren mit der logischen Strukturierung von variantenreichen Produkten und im Speziellen mit der klassischen Plattformstrategie für Fahrzeugfamilien beschäftigt (siehe [2] [10] [9] [13] [19] [21] [22] [29] [35] [55] [63] [72] [82] [94] [95] [131] [136] [152]). Tendenziell werden dabei die Fahrzeuge und in eine starre Plattform und eine individualisierte, kundenwertige Erscheinungsform unterteilt. Bezogen auf den Umfang der Karosserie umfasst die Plattform somit eine unveränderbare Bodengruppe für alle Derivate der Produktfamilie und der Individualisierungsanteil das individualisierte Karosseriegerippe mit Dach inklusive der Außenhautteile. Diese klassische Einteilung ist somit als Stand der Technik zu erachten. Arbeiten, die sich mit den Mechanismen einer skalierbaren Plattform für Karosserien in Produktfamilien beschäftigen, konnten nicht recherchiert werden.

Den Fokus dieser Arbeit bilden im Folgenden Analysen, Recherchen und Bewertungen, die sich ausschließlich mit den Mechanismen einer skalierbaren Plattform für Karosserien in Produktfamilien beschäftigen.

Für die weiteren Ausführungen im Rahmen dieser Arbeit sollen im kommenden Abschnitt die notwendigen Grundlagen zu Karosserien von Personenkraftwagen und deren Produktion geschaffen werden.

## 2.3 Grundlagen zu Karosserien von Personenkraftwagen

Die im Rahmen dieser Arbeit entstandene Methodik zur Bewertung von Derivaten in Produktfamilien befasst sich im operativen Teil (Kapitel 5 und 6) detailliert mit den Strukturen und Bauteilen im Karosserieboden. Daher soll im folgenden Abschnitt ein grundlegendes Verständnis für den Aufbau von Karosserien als auch für deren verschiedene Bauformen und Proportionen geschaffen werden. Es wird auf flexible Fertigungsprozesse zur Herstellung von Karosserien in Produktfamilien eingegangen und es wird in den nachfolgenden Abschnitten dargelegt, wie sich Standardisierung, Skalierung und Differenzierung auf die Karosserien verschiedener Produktfamilienderivate auswirken.

### 2.3.1 Karosseriebauformen

*Limousine, Coupé, Kombi, Geländewagen, SUV (Sports Utility Vehicle), Cabriolet und Roadster* sind weitläufig bekannte Karosseriebauformen und sollen daher in dieser Arbeit betrachtet werden.

#### Konventionelle Personenkraftwagen

Die Karosseriebauformen von *Limousine, Coupé, Kombi* und *Cabriolet* unterscheiden sich durch die Anordnung und Anzahl von Türen, Fenstern und Sitzen, der Gestaltung des Dachs und der Ladefläche sowie der gesetzlichen Vorschriften, die in den verschiedenen Absatzmärkten zu erfüllen sind. Die Normen DIN bzw. ISO 3833 [N6] indizieren, wie die Karosserieformen voneinander zu unterscheiden sind. Aufgrund der anschaulichen Beschreibung der Karosserieformen von Limousine, Kombi (Pkw-Kombi), Coupé und Cabriolet wird an dieser Stelle auf DIN 70010 [N4] „Systematik der Straßenfahrzeuge“ verwiesen.

Eine Beschreibung der Karosserieformen des Geländewagens und im Speziellen von SUVs sowie von Roadsterfahrzeugen erfolgt in den genannten Normen nur bedingt. Die Karosseriebauformen dieser Fahrzeuggattungen stehen im Analyseteil dieser Arbeit (Kapitel 6) im Fokus und werden daher detailliert betrachtet.

#### Geländewagen und SUV

Laut DIN 70010 Nr. 1.2.1.9 sind der *Geländewagen* und das Sports Utility Vehicle, kurz: *SUV* (im englischen auch MPV genannt: Multi Purpose Vehicle) der Kategorie der *Mehrzweck-Personenkraftwagen* zu zuordnen. Wobei die Beschreibung in DIN 70010 [N3] als: „Personenkraftwagen mit einem oder mehr Sitzen und einem geschlossenen, offenen oder zu öffnenden Aufbau, derartig ausgelegt, dass auch die Beförderung von Gütern erleichtert wird“, keine eindeutige Definitionen dieser Fahrzeuggattung bietet.

ANSELM [5] beschreibt den *Geländewagen* als einen Mehrzweck-Pkw, der eine Mischung aus einem Kombinationsfahrzeug und einem kleinen Lastkraftwagen ist. Geländewagen haben wegen des Allradantriebs, der robusten Achsen und des „Off-Road“-Charakters als Chassis meist einen robusten Leiterraum. Die meisten der heute im Straßenverkehr üblichen SUVs unterscheiden sich von dieser Definition deutlich. So wird ein SUV nach BRAESS [13] als ein leicht geländegängiges Fahrzeug mit aus Traktionsgründen vier angetriebenen Rädern beschrieben. Diese Fahrzeugkategorie reicht von aus Mittelklassekombis abgeleiteten und höher gelegten Fahrzeugen bis hin zu reinen Geländefahrzeugen. Typisch ist der Allradantrieb, die große Bodenfreiheit, kurze Überhänge für große Böschungswinkel und eine hohe Sitzposition der Insassen [9]. Im Allgemeinen werden SUVs als Gelände-Pkw entwickelt, die beim annähernden Fahrkomfort einer Limousine, eine erhöhte Geländegängigkeit sowie im Design Anklänge an Geländewagen aufweisen. Daher können SUVs nach ISO 3833 1977 No. 3.1.1.4.1 [N6] als

Truck-Station-Wagon mit erhöhter Sitzposition<sup>2</sup> beschrieben werden. Wichtige Voraussetzung für die Auslegung von SUVs für den Zielmarkt USA ist die gesetzliche Erteilung einer Zulassung als „Light Truck“<sup>3</sup> um in einer vergünstigten Steuerklasse eingeordnet werden zu können.

### Roadster

Der *Roadster* ist nach DIN 70010 [N3] der Klasse der offenen Personenkraftwagen, also eines Cabriolets zu zuordnen.

Der *Klassische Roadster* soll für diese Arbeit als ein offenes zweisitziges Fahrzeug definiert werden, dessen Karosserieproportionen sich durch einen langen Vorderwagen mit einer weit nach hinten versetzten Sitzposition direkt vor der Hinterachse auszeichnet (siehe **Bild 2-8**).



Bild 2-8: Roadster mit klassischen Proportionen - BMW 507.

Moderne Roadster unterscheiden sich oft von diesen klassischen Proportionen, da sie als Plattform- oder Produktfamilienfahrzeuge von einer herkömmlichen Limousinenbasis abgeleitet werden und daher klassischen Roadster-Proportionen nicht genügen können. ANSELM [5] beschreibt den Roadster in diesem Zusammenhang als Sportwagen, meist auf Coupé-Basis mit normalerweise nur zwei Vordersitzen, der offen oder geschlossen gefahren werden kann. Er nennt größere Absatzmengen als Grund dafür, dass viele Automobilhersteller künftig zweisitzige „Elite“-Cabrios unter dem Traditionsbegriff „Roadster“ oder „Spider“ [5] bauen. Nach BRAESS [13] beinhaltet das Roadster-Segment traditionell Fahrzeuge mit Standardantrieb ebenso wie Mittelmotorfahrzeuge. Er beschreibt ebenfalls [9], dass der Begriff Roadster bei den heute auf den Markt kommenden Fahrzeugen auch oft für *zweisitzige Cabriolets* verwendet wird.

Aus diesem Grund soll in dieser Arbeit zwischen dem *klassischen Roadster* und dem *zweisitzigen Cabrio* unterschieden werden. Für eine eindeutige Klassifikation wird der *Karosserie-Index für Roadsterproportionen* (kurz: KIRP) eingeführt, der den Radstand (L101) und den Abstand zwischen Vorderachse und Sitzreferenzpunkt des Fahrers (L114) im Fahrzeug zueinander ins Verhältnis setzt. Siehe **Gleichung 2.1** und vgl. **Bild 2-9**.

---

<sup>2</sup> [N6] A passenger car derived from a commercial vehicle. [...] The point R of the driver's seat shall be at least 750 mm above the surface supporting the vehicle, when measured at complete kerb weight [...]

<sup>3</sup> For the purposes of fuel economy standards, NHTSA defines a light truck as any truck or “truck derivative” with a gross vehicle weight rating (GVWR) of 8,500 pounds or less, and a vehicle curb weight (VCW) of 6,000 pounds or less. 6 (49 CFR 523) SUVs and mini-vans are usually built on truck chassis, or have other truck-like characteristics (e.g. 4 wheel drive and/or flat loading areas), and are therefore classified as light trucks.

$$KIRP = \frac{L101}{L114} \quad (2.1)$$

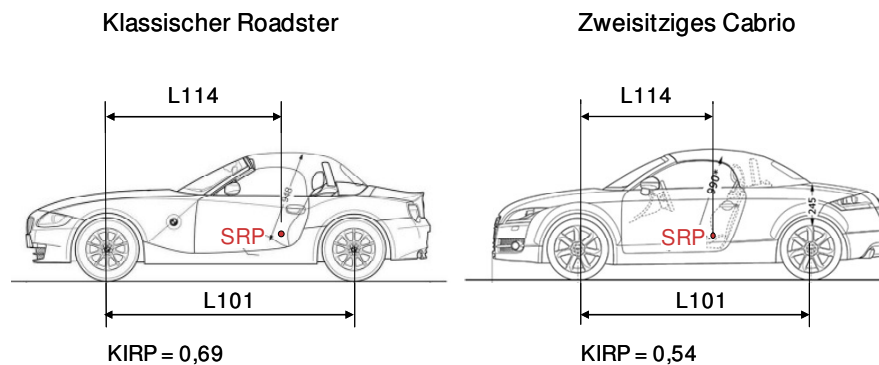


Bild 2-9: Vergleich KIRP klassischer Roadster und zweisitziges Cabrio

In einer Marktanalyse im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde eine Reihe von Roadsterfahrzeugen hinsichtlich ihrer Roadsterproportionen analysiert (siehe **Bild 2-10**). Dabei wurde herausgestellt, dass offene zweisitzige Sportfahrzeuge mit einem KIRP-Wert von kleiner 0,6 aufgrund ihrer Abstammung aus Plattformen als zweisitzige Cabrios zu bezeichnen sind. Alle offenen zweisitzigen Sportfahrzeuge mit einem KIRP-Wert deutlich größer als 0,6 entsprechen in ihren Proportionen einem klassischen Roadster und werden in den untersuchten Fällen karosserieeitig als unabhängige Solitärfahrzeuge entwickelt und produziert.

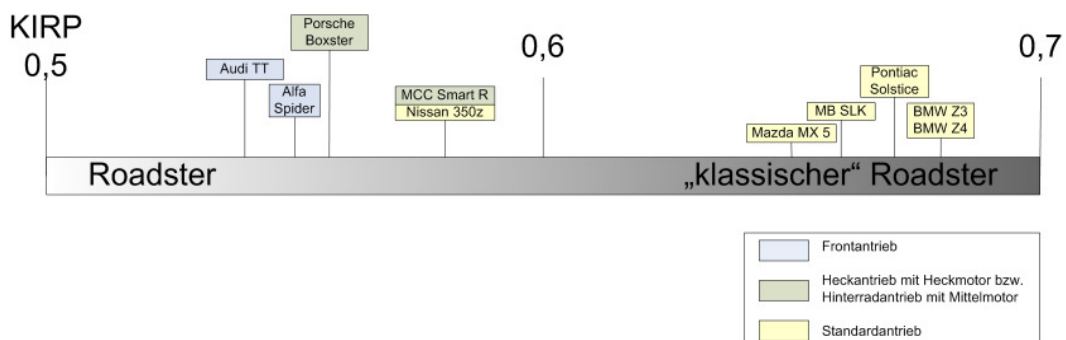


Bild 2-10: Marktanalyse KIRP-Werte verschiedener aktueller Roadsterfahrzeuge [58].

Die Validierung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Bewertungsmethodik soll unter anderem an der Produktfamilien-Ableitung eines Roadsterderivats mit klassischen Roadsterproportionen durch geführt werden.

### 2.3.2 Karosseriebauweisen und Werkstoffe

Die Fahrzeugkarosserie ist laut GSCHIEDLE [44] die zum Fahrwerk gehörende Tragkonstruktion an der die einzelnen Teilsätze wie Motor, Lenkung, Federn, Achsen usw. befestigt werden. Ausgehend vom Aufbau einer Kutsche wurde nach BRAESS [13] zu Beginn der automobilen Entwicklung im 19ten Jahrhundert die Karosserie eines Pkw auf einem festen Rahmengestell befestigt. Diese getrennte oder mittragende Bauweise [44] findet heute bei Lastkraftwagen und



## 2. Differenzierte Karosserien in Produktfamilien

Geländefahrzeugen Verwendung, um einen modularen Aufbau der Fahrgestelle zu ermöglichen. Im Bereich der Personenkraftwagen hat sich mit ca. 70 Prozent aller produzierten Fahrzeuge nach FRANKE [35] die selbsttragende Karosserie durchgesetzt (siehe auch BRAESS [13] und BOSCH [9]). Diese selbsttragende Karosserie besteht aus Blechhohlkörpern, Pressteilen [9], und Profilen [5], die aus Metallen sowie Kunststoffen gefertigt sind und im Karosseriebau miteinander verbunden werden. Die Steifigkeit der Karosserien resultiert aus der Anordnung und Dimensionierung der miteinander verschweißten Träger, Querwände, Seitenteile, Säulen, Traversen und profilierten Blechsegmente. Die Aufgaben von Karosserien sind es, die Baugruppen des Kraftfahrzeugs, zu einer Einheit zu verbinden, die statischen Kräfte als Summe der Gewichtskräfte aller ungefederten Massen auf die Räder zu übertragen, die dynamischen Kräfte aus dem Fahrbetrieb aufzunehmen sowie der Transport und der Schutz der Insassen bzw. Güter [38].

Nach einer hohen strategischen Wertung der Verwendung von Aluminiumwerkstoffen im Karosseriebau [125], [89] ist in letzter Zeit ein vermehrter Trend zur Hybridstrukturen [43], [59], [131] sowie Multimaterialbauweisen zu erkennen. Die meisten Karosserien heutiger Großserienfahrzeuge werden aber aus Kostengründen weiterhin in konventioneller Stahl-Schalenbauweise hergestellt. Diese bestehen bis auf wenige Ausnahmen aus Stahlblechen, die funktionsbedingt in unterschiedlicher Güte im Fahrzeug verbaut werden. In letzter Zeit hat in diesem Zusammenhang die Verwendung von hoch- und höchstfesten Stahlgüten die warm umgeformt werden, nach PFESTORF zugenommen [110]. Die verwendeten Rohbaublechdicken betragen in der Regel 0,4 bis 3,0 mm. Den Hauptbestandteil stellen dabei üblicherweise Feibleche mit einer Dicke von 0,75 bis 1,0 mm [9].

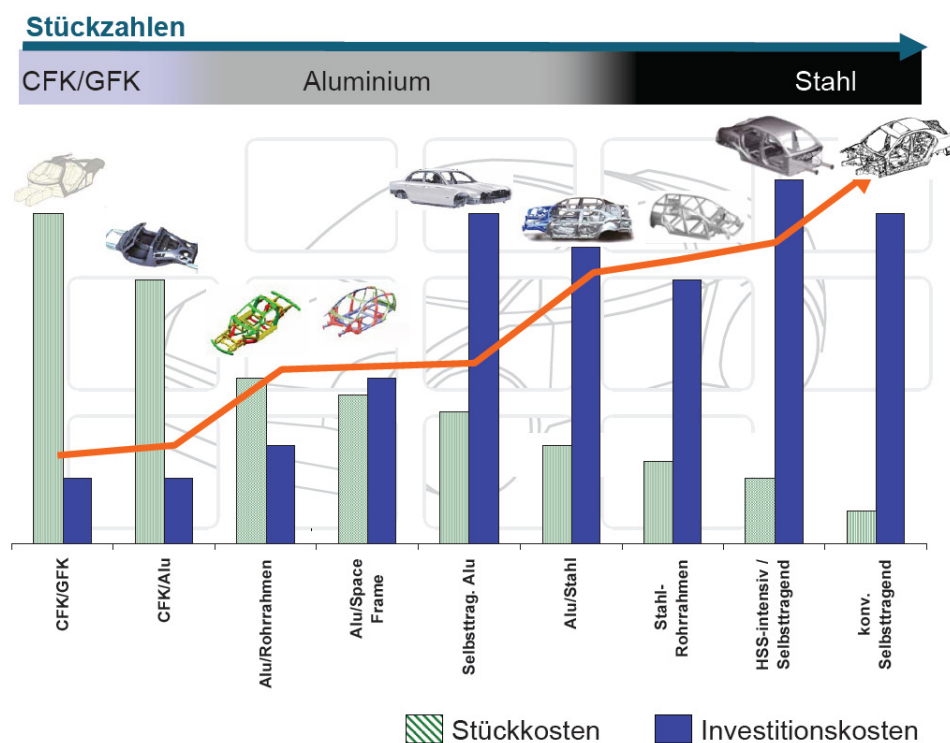


Bild 2-11: Karosseriebauweisen in Abhängigkeit der Stückzahlen, Stückkosten und Investitionskosten nach RÖTH [124]

In **Bild 2-11** ist nach RÖTH [124] eine Übersicht der heute gängigen Karosseriebauweisen und Materialien dargestellt. In Abhängigkeit der Stückzahlen sind für die in der Karosserie eingesetzten Materialien die spezifischen Investitions- und Herstellkosten je Karosseriebauweise aufgezeigt.


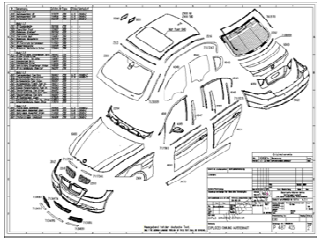
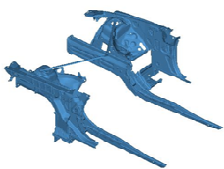
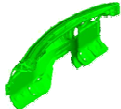
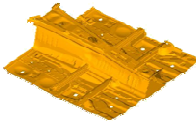
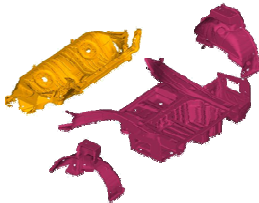


Aufgrund der Betrachtung von Fahrzeugen in Produktfamilien mit hohen bis sehr hohen Stückzahlen sollen im Rahmen dieser Arbeit lediglich Karosserien in einer konventionellen Stahlschalenbauweise betrachtet werden. Folglich werden in den nachfolgenden Abschnitten zur Fertigung von Karosserien (siehe **Kapitel 2.5**) lediglich die konventionellen Großserientechnologien für die Herstellung von Karosserien in einer Stahlschalenbauweise erläutert. Die im Rahmen dieser Arbeit in **Kapitel 5** entwickelte Konstruktions- und Bewertungsmethodik entspricht der Anforderung einer allgemeinen Anwendbarkeit und ist dabei auf alle denkbaren Karosseriebauweisen und die damit verbundenen Fertigungstechnologien adaptierbar. Aufgrund der geschilderten Prämissen wird die entwickelte Methodik somit ebenfalls mit den Konstruktions- und Produktionsvoraussetzungen der Stahlschalenbauweise angewendet.

### 2.3.3 Moduleinteilung von Karosserien

In einer Erweiterung der Modulbeschreibung aus **Abschnitt 2.2.5** werden die Karosseriestrukturen von Personenkraftwagen herstellerübergreifend analog zur Produktionssequenz im Karosseriebau [13] in einzelne Module unterteilt. Diese Module dienen zur Strukturierung der Entwicklungsumfänge in den Fahrzeugprojekten und zur Budgetierung der Entwicklungsleistungen. Für Querschnittsthemen wie zum Beispiel die funktionale Auslegung, den Korrosionsschutz und die Homologation werden zusätzliche organisatorische Module in der Fahrzeugentwicklung geführt, die die physikalische Modulstruktur der Karosserien erweitern.

Tabelle 2-2: Modulunterteilung Rohkarosserie.

	2.1 (Karosseriegerippe & Dach)		2.2 (Türen-Klappen-Scheiben-Anbauteile)	
<b>Modul 2</b> Karosserie-Gerippe - Individualteil				
<b>Modul 1</b> Bodengruppe - Standardteil / Skalierbare Plattform				
				
	1.1 (Vorderbau)	1.2 (Stirnwand)	1.3 (Unterboden)	1.4 (Hinterbau)

Für ein einheitliches Verständnis im Rahmen dieser Arbeit soll die in **Tabelle 2-2** gezeigte Modulunterteilung der Karosseriebauteile erfolgen und die modulspezifischen Bauteilumfänge erläutert werden. Diese Modullogik gliedert die Karosserie mit Modul 1 in den Standardteil (die skalierbare Plattform) und mit Modul 2 in den Individualteil. Diese modulare Gliederung der Karosserie entspricht einer dieser Arbeit dienlichen Logik und kann sich in ihrem Aufbau von der Automobilindustrie unterscheiden.

## Modul 1 – Bodengruppe

Modul 1, die Bodengruppe untergliedert sich in den Vorderbau (Modul 1.1), die Stirnwand (Modul 1.2), den Unterboden (Modul 1.3) und den Hinterbau (Modul 1.4). Die Karosseriebauteile, Bauräume und Funktionen der einzelnen Module werden im Folgenden grob erläutert.

*Modul 1.1, der Vorderbau, siehe*

**Bild 2-12**, besteht größten Teils aus tragenden Bauteilen und dient zur Aufnahme des vorderen Fahrwerks. In Fahrzeugen mit Frontmotor dient er weiterhin zur Integration des Motors mit Getriebe sowie den aggregierten Komponenten des Motorraumpackage. Die Struktur des Vorderwagens muss im Fahrbetrieb den Reifenfreigang der gelenkten Vorderräder sichergestellten [41], die in das Fahrwerk eingeleiteten Kräfte aufnehmen, über Lagerungen das Gewicht der Antriebsaggregate tragen, bezüglich der Leerlaufschwingungen des Motors [52] ein akustisch und schwingungstechnisch günstiges Verhalten zeigen sowie die Kräfte in Folge eines Frontalaufpralls absorbieren und in die Struktur der Karosserie weiterleiten.

Aufgrund der großen Anzahl an standardisierten Schnittstellen zu Komponenten aus dem Komponentenbaukasten bietet der Vorderwagen von Fahrzeugen in Produktfamilien ein sehr hohes Standardisierungspotenzial.

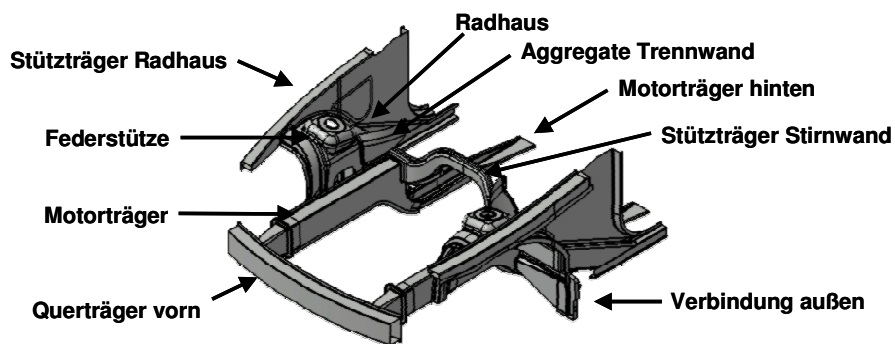


Bild 2-12: Modul 1.1 – Vorderbau (Strukturbeispiel Frontmotor)

*Modul 1.2, die Stirnwand* (siehe **Bild 2-13**) trennt den Motorraum von der Fahrgastzelle und bildet daher als Schnittstelle zwischen der Technik und dem Fahrer ein zentrales Element in der Karosserieentwicklung. Der Stirnwand ist dabei ein erheblicher Teil der Torsionssteifigkeit zuzuordnen [41]. Im unteren Bereich dient das Stirnwandblech zur Anbringung des Fußhebels, des Bremskraftverstärkers (Master-Vac), des Heiz-Klimageräts und zur Anbringung der Instrumententafel. Zusätzlich müssen Durchbrüche für die Lenkung, die Kabelführung und medienführende Leitungen sichergestellt werden. Im Bereich unterhalb des Windlaufs werden die Scheibenwischanlage sowie Durchbrüche für die Luftführung der Heiz-Klima-Anlage vorgesehen.

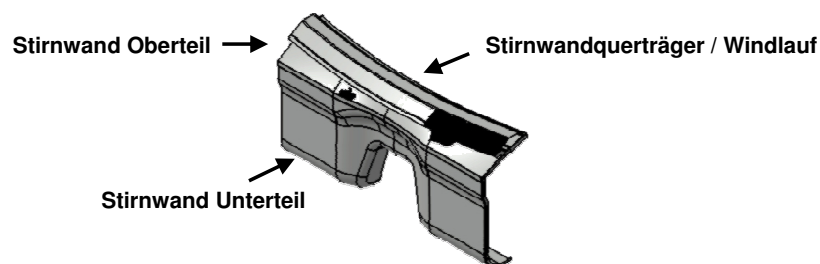


Bild 2-13: Modul 1.2 – Stirnwand

Aufgrund der hohen Anzahl an Komponenten der Fahrerfahrzeug-Schnittstelle und des Motorraumpackage, die an der Stirnwand befestigt werden, unterliegen die Bauteile dieses Moduls in Produktfamilien einer hohen Standardisierung.

In *Modul 1.3, dem Unterboden*, siehe **Bild 2-14**, dienen die tragenden Bauteile zur Sicherstellung der notwendigen Steifigkeit im Bereich des Unterbodens und nehmen im Falle eines Frontal- oder Seitenaufpralls die in die Karosserie eingeleiteten Kräfte auf und verteilen sie in der nach gelagerten Struktur. Der Tunnel bietet den notwendigen Bauraum für die Abgasanlage, die medienführenden Leitungen sowie die Schalteinheit und in Abhängigkeit der Antriebsart den Bauraum für das Getriebe, den Antriebsstrang und für ein Verteilergetriebe bei Allradfahrzeugen. Die Positionierung und Dimensionierung der Sitzquerträger richtet sich nach der Sitzposition des Fahrers und des Beifahrers und bildet die Voraussetzung für eine stimmige Auslegung der Fahrerarbeitsplatzergonomie.

Im Sinne einer skalierbaren Plattform haben die großflächigen und investkostenintensiven Bauteile im Unterboden ein hohes Standardisierungspotenzial. Gegenläufig dazu erfordern differenzierte Radstände und verschiedene Fahrerpositionen eine Skalierung vieler Bauteile im Unterboden.

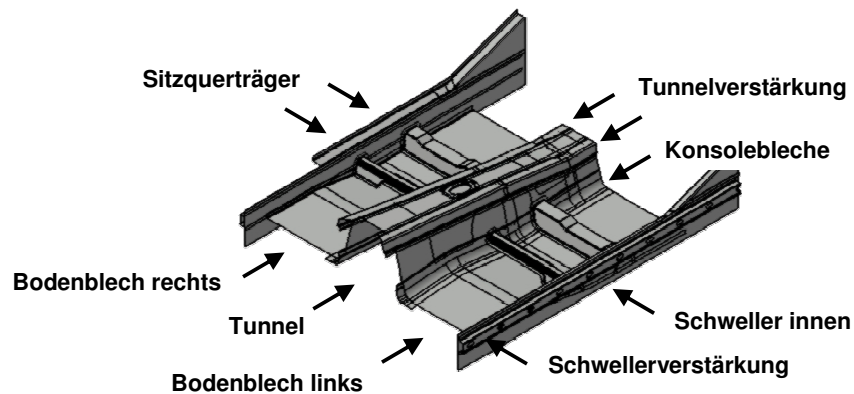


Bild 2-14: Modul 1.3 – Unterboden  
(Bsp. Standardantrieb mit großem Tunnel für Getriebe, Kardanwelle und Abgasanlage)

*Modul 1.4, der Hinterbau*, siehe **Bild 2-15**, dient zur Positionierung der Fondpassagiere, zur Integration der Kraftstoffversorgungsanlage (KVA), zur Aufnahme der Hinterachse und üblicherweise zum Transport des Gepäcks. Der Hinterbau besteht aus den Hecklängs- und -querträgern, die der Hinterwagenstruktur die notwendige Steifigkeit im Fahrbetrieb sowie eine ausreichende Stabilität im Crashfall verleihen. Das Fersenblech mit Verstärkungen und die Sitzwanne bieten den Fondpassagieren über die montierte Rückbank den geforderten Sitzkomfort. Darunter befindet sich der Bauraum für die im Crashfall zuschützende Kraftstoffversorgungsanlage. Die Position der Stoßdämpfer bedingt in wieweit die hinteren Radhäuser eine tragende Funktion übernehmen (vgl. Kapitel 6.2 - Ableitung SUV).

Das hintere Fahrwerk ist die treibende Kraft für Standardisierungen in der Tragstruktur des Hinterbaus. Skalierungen an den Bauteilen im Hinterbau einer Produktfamilie erfolgen aufgrund unterschiedlicher Überhanglängen, differenziertem Platzangebot für die Fondpassagiere, differenzierten Tankvolumina und Radgrößen.

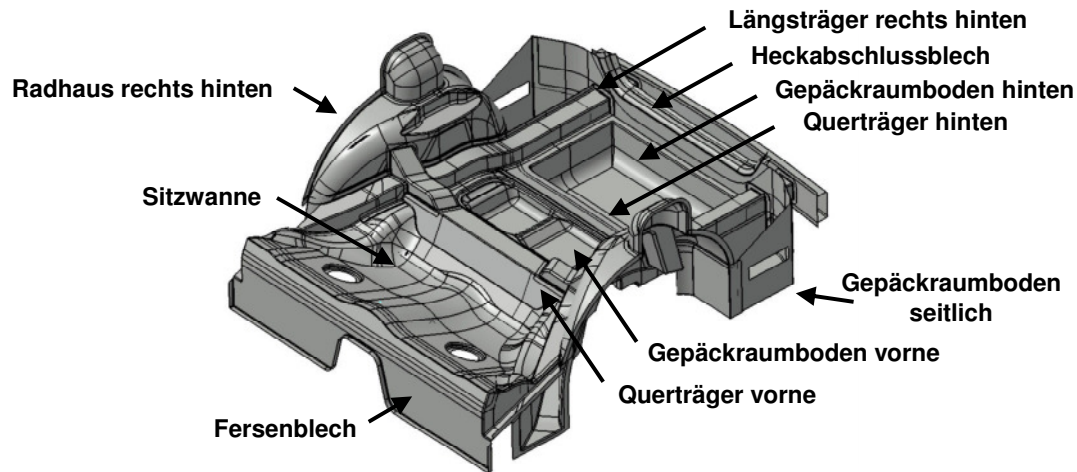


Bild 2-15: Modul 1.4 – Hinterbau (Standardantrieb)

### Modul 2 – Karosseriegerippe

Diese Karosserieumfänge kennzeichnen sich, wie bereits in **2.2.5** beschrieben, durch ihre derivatspezifisch individuelle Erscheinungsform aus und dienen der kundenwertigen Differenzierung der einzelnen Derivate der Produktfamilie (vgl. **Bild 2-16**). Potenzial für eine Standardisierung bietet sich für Kleinteile und Halter sowie für einen geringen Umfang an Aussenhautteilen in Sublinien der Produktfamilie. Sublinien fassen in diesem Zusammenhang designverwandte Derivate wie z.B. Limousine und Kombi, bzw. Coupe und Cabrio zusammen, vgl. AHLERS [4].

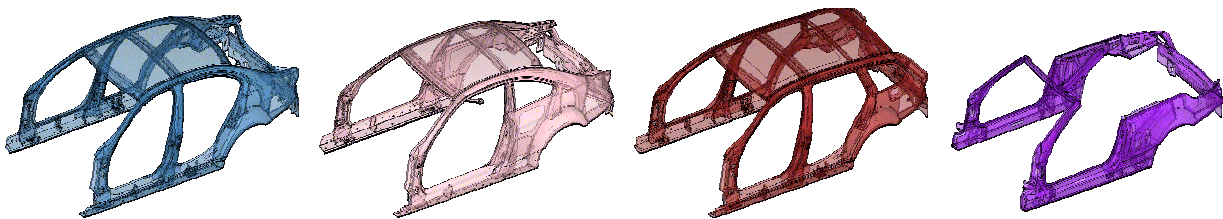


Bild 2-16: Modul 2.1 für Limousine, Coupe, Kombi und Cabrio.

Da der Bauteilumfang in *Modul 2* primär der kundenwertigen Individualisierung über das Design der Derivate dient und dieses Vorgehen bereits in Kapitel **2.2.5** als Stand der Technik identifiziert wurde und soll er im Rahmen dieser Arbeit nicht weiterführend betrachtet werden.

### 2.3.4 Gestaltungsfelder der Produktfamilienkonzeption

Als eine der wichtigsten Ordnungsgrößen in den Gestaltungsfeldern der Produktfamilienkonzeption wurde in den Fahrzeuganalysen im Rahmen dieser Arbeit die *Architektur*<sup>4</sup> der Fahrzeugbodengruppe identifiziert. Sie bestimmt dabei maßgeblich das Package der Fahrzeugbodengruppe.

<sup>4</sup> **Ar|chi|tek|tur** die; -, -en: 1. a) (ohne Plural) Baukunst [als wissenschaftliche Disziplin]; b) Baustil. 2. der nach den Regeln der Baukunst gestaltete Aufbau eines Gebäudes [28].

Die *Architektur* eines Fahrzeugs wird daher als die spezifische Anordnung der Aggregate und Komponenten in den Bauräumen der Karosseriebodengruppe definiert, die die Lage der Träger und Blechflächen in der Bodengruppe festlegt. Architekturbestimmender Stellhebel ist dabei das Antriebskonzept, das sich aus der Antriebsart sowie der Lage der Antriebsquelle und den angetriebenen Achsen zusammensetzt. Allgemein bekannte Formen einer Architektur für Fahrzeuge sind der Standardantrieb oder der Frontantrieb mit Quermotor.

Alle Fahrzeuge, die auf Basis einer Architekturform entwickelt werden, sind zueinander in den Proportionen ihrer Bodengruppen verwandt. Sie haben quasi die gleichen Gene. Durch das Aufsetzen unterschiedlicher Karosseriebauformen (vgl. **Kapitel 2.3.1**) auf eine Architekturform ergeben sich aber Verschiebungen der karosseriebauformspezifischen Maßketten innerhalb der Proportionen. Haupteinflussgröße dieser Maßkettenverschiebungen sind technische Maßzielgrößen wie der Raddurchmesser, die Bodenfreiheit, die Spurweite, der Radstand, die Überhänge vorne und hinten, die Sitzposition des Fahrers, die Anzahl der Sitzreihen uvm. Dieser Effekt soll nun auf die Derivate einer Produktfamilie im Sinne einer skalierbaren Plattform übertragen werden.

Die im Rahmen des Forschungsprojekts identifizierten „Gestaltungsfelder der Produktfamilienkonzeption“ dargestellt in **Bild 2-17**, bilden in der Findungsphase von Produktfamilien die Grundlage für eine konsistente Festlegung der Maßkonzepte je Derivat. Die Findung der Maßkonzepte je Derivat bewegt sich dabei im Spannungsfeld zwischen der Architektur der Produktfamilie, den Karosseriebauformen der Derivate und den abzubildenden Fahrzeugklassen.

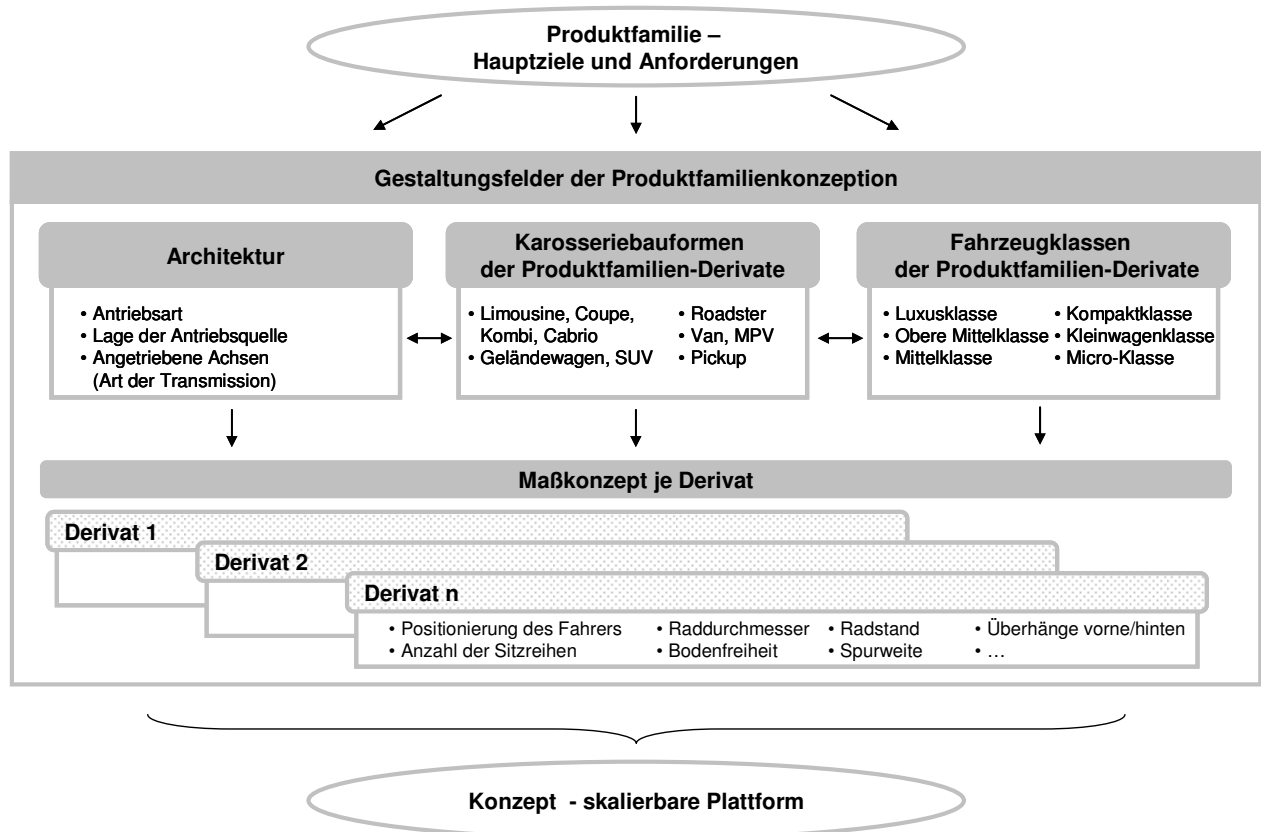


Bild 2-17: Gestaltungsfelder der Produktfamilienkonzeption in Anlehnung an BRAESS [13]

Im folgenden Abschnitt werden die identifizierten Architekturformen für Pkw-Karosserien vorgestellt und hinsichtlich der spezifischen Verschiebungen in den Maßketten für unterschiedliche Karosseriebauformen analysiert. Als Beispiel für verschiedene Karosseriebauformen werden die in **Kapitel 2.3.1** vorgestellten Karosseriebauformen Limousine (stellvertretend für die Bau-

## 2. Differenzierte Karosserien in Produktfamilien

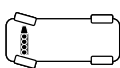
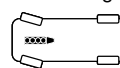
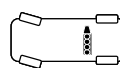
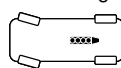
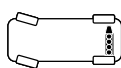
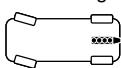
formen Kombi, Coupe und Cabrio) sowie das SUV und der klassische Roadster betrachtet. Die verwendeten Fahrzeugmaßangaben und das referenzierte Fahrzeugkoordinatensystem entsprechen den Vorschriften aus DIN 70020 [N4]. Abschließend wird der Einfluss verschiedener Fahrzeugklassen auf die Proportionen der Maßketten im Package erläutert.

### Fahrzeugarchitekturen

Hauptaspekt für die Festlegung einer Fahrzeugarchitektur ist das Antriebskonzept des geplanten Fahrzeugs. Abgesehen von alternativen Antrieben lassen sich aktuell in der Automobilindustrie in Anlehnung an BRAESS [13] vier grundlegende Fahrzeugarchitekturen für Personenkraftwagen mit Verbrennungsmotoren ableiten (siehe **Tabelle 2-3**):

- 1 Frontantriebs-Architektur
- 2 Standardantriebs-Architektur
- 3 Mittelmotorantriebs-Architektur
- 4 Heckmotorantriebs-Architektur

Tabelle 2-3: Identifikation der grundlegenden Fahrzeugarchitekturen in Anlehnung an Braess [13].

Antriebsachse	Lage der Antriebsquelle					
	Front-Quer	Front-Längs	Mitte-Quer	Mitte-Längs	Heck-Quer	Heck-Längs
Front						
Allrad	üblich	üblich	Keine Anwendung	Keine Anwendung	Keine Anwendung	Keine Anwendung
Heck	Bei großer Motorenleistung	Bei großer Motorenleistung	Keine Anwendung	Aufwändig in der Realisierung	Keine Anwendung	Bei großer Motorenleistung
Heck	Keine Anwendung	Standard	üblich	üblich	üblich	üblich

Beim *Frontantrieb* werden Motor, Getriebe, Differentialgetriebe und Verteilergetriebe (optional für Allradantrieb) zu einer kompakten Baueinheit zusammengefasst und liegen im Vorderwagen vor und über der angetriebenen Vorderachse. Der Motor kann dabei quer oder längs zur Fahrtrichtung stehend oder geneigt angeordnet werden [38]. Für die *Frontantriebs-Architektur* (vgl. **Bild 2-18**) ergeben sich daraus folgende Konsequenzen. In Fahrzeuglängsrichtung entsteht aufgrund der Motorlage vor der Vorderachse ein langer vorderer Überhang (L104). Dies ist vor allem bei einem längs eingebauten Motor aufgrund der Beugewinkel der Gelenkwellen der Fall. Quer eingebaute Motoren zeichnen sich durch ihren geringen Platzbedarf in x-Richtung aus. Wegen des quer neben dem Motor angeordneten Getriebes leiten sich ein auf kleine Motoren begrenztes Motorenspektrum und eine breite Motorträgerspur ab. Aus diesen Gründen wird diese Architektur hauptsächlich in kleinen Fahrzeugklassen verwendet [13]. Die Stirnwand und der untere Windlauf rücken in Fahrzeuglängsrichtung weit nach vorne und erlauben eine Positionierung des Fahrers weit vorne im Fahrzeug (kleine Werte von L114). Begrenzend sind hierbei die Grenzhüllfläche der Vorderräder und die Motorhinterseite. Im Unterbau ist ein kleiner (flacher und schmaler) Tunnel für den Bauraum der Abgasanlage und ggf. einer Antriebswelle bei Allradantrieb vorgesehen. Der Hinterbau zeigt eine geringe Dimensionierung der Tragstruktur, da die Hinterachse als Nachlaufachse keine oder bei einem Allradantrieb nur untergeordnete Antriebskräfte übertragen muss. Dementsprechend sind die Hinterachskonstruktionen bei Frontantriebsfahrzeugen einfacher ausgeführt [38] und für die Querverbindung zwischen den Längsträgern genügt meist ein Querträger, was das Bauraumangebot im Gepäckraum positiv beeinflussen kann. In Summe zeigen Fahrzeuge mit einer Frontantriebsarchitektur aufgrund der



genannten Karosserieverhältnissen eine Achslastverteilung von idR. 60% an der Vorderachse, zu 40% an der Hinterachse. Bei hohen Motorleistungen wirkt sich diese Architektur negativ auf das Antriebsverhalten aus und führt bei den meisten Herstellern zu einer aktiven Drosselung des Motormoments bei geringen Reibwerten oder zu einer „Zwangsverallradung“ der Fahrzeuge mit hoher Motorisierung.

Beim *Standardantrieb* liegt der Motor längs eingebaut über und hinter der Vorderachse, die Kupplung und das Schaltgetriebe (sowie das Verteilergetriebe bei Allradantrieb) ragen durch die Stirnwand bis in den Tunnel hinein. Das Differentialgetriebe befindet sich an der Hinterachse und ist über eine Gelenkwelle mit dem Schaltgetriebe verbunden [38]. In der *Standardantriebsarchitektur* (vgl. **Bild 2-18**) ermöglicht der weit hinten in Fahrzeuginnenraum liegende Motor einen kurzen Überhang (L104), gefolgt von einem meist langen Vorderwagen. Dementsprechend sind die Stirnwand und der Windlauf weiter nach hinten verschoben, was die Insassen im Fahrzeug ebenfalls weiter nach hinten versetzt. Das hinter dem Motor liegende Schaltgetriebe wird durch die Stirnwand geschoben und erfordert zusammen mit der Gelenkwelle und der Abgasanlage einen großen (hohen und breiten) Tunnel im Unterboden. Aus den Antriebseinflüssen an der Hinterachse resultiert eine entsprechend starke Dimensionierung der Tragstruktur im Hinterbau. Die Architektur eines Standardantriebs erlaubt eine gleichmäßige Achslastverteilung von jeweils 50% an der Vorder- und Hinterachse und bietet die Grundlage für eine ausgewogene Fahrdynamik. Zusätzlich sind die Antriebseinflüsse vom Lenkverhalten getrennt.

Ein Vergleich der Proportionen zwischen einer Standardantriebs- und Frontantriebsarchitektur ist in **Bild 2-18** dargestellt.

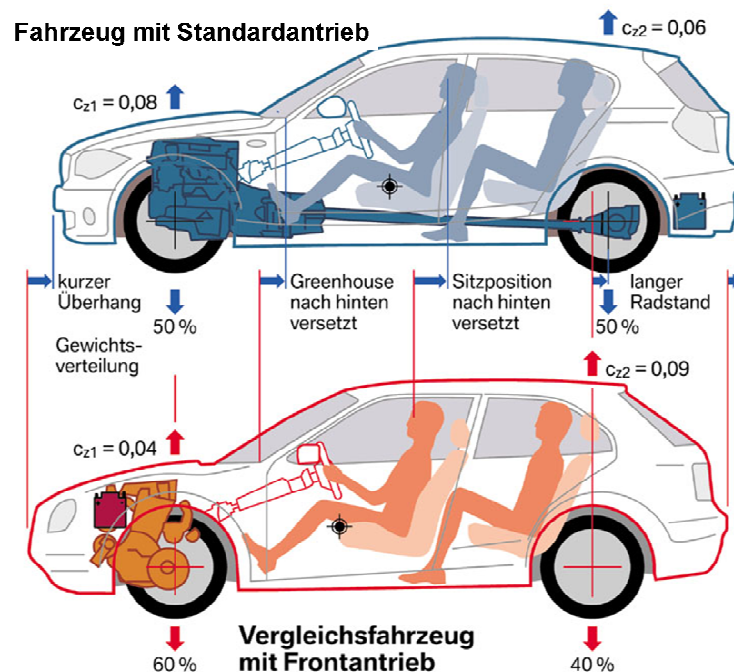


Bild 2-18: Fahrzeugarchitekturen beeinflusst durch das Antriebskonzept nach LANGEN [77].

Beim *Mittelmotorantrieb* liegt der Motor vor der angetriebenen Hinterachse. Kupplung, Schalt- und Differentialgetriebe liegen auf der Hinterachse [38].

Beim *Heckmotorantrieb* liegen die Kupplung, das Getriebe und das Differentialgetriebe im Bereich der angetriebenen Hinterachse. Der Motor befindet sich hinter der Hinterachse.

Die Heckmotorantriebs-Architektur war im letzten Jahrhundert für viele Jahrzehnte ein weitverbreitetes Konzept. Beispiel hierfür sind der VW Käfer und die aus ihm abgeleiteten Derivate so-

wie der VW Bus T1 bis T3. Heute werden die aus dem Heck- und Mittelmotorantrieb abgeleiteten *Fahrzeugarchitekturen* vornehmlich für Sport- und Rennwagen in Klein- und Kleinstserien eingesetzt und sollen daher nur kurz behandelt werden. In den Proportionen der Bodengruppe bewirken der Mittel- und der Heckmotorantrieb einen äußerst kurzen Vorderwagen da in diesem Bereich kein oder nur ein geringer Stauraum vorgesehen ist. Die Sitzposition des Fahrers und des Beifahrers ist in Fahrzeuginnenrichtung weit nach vorne verlagert. Im Unterboden kann der Tunnel weitgehend entfallen und beschränkt sich lediglich auf den Bauraum des Schaltgestänges und der medienführenden Leitungen. Entsprechend der Motorlage vor oder nach der Hinterachse ist eine ausreichende Dimensionierung der Tragstruktur im Hinterbau erforderlich und es müssen Blechfelder für die Abschottung des Motorraums von der Fahrgastzelle vorgesehen werden. Diese Fahrzeuge zeigen selbst bei sehr hohen Motorisierungen ein gutes Abtriebsverhalten, erfordern aber einen höheren Aufwand zur Kühlung des Motors [38]. Der entscheidende Vorteil der Mittel- gegenüber der Heckmotorarchitektur ist in der günstigen Schwerpunktlage dieser Fahrzeuge begründet.

### Karosseriebauformtypische Packageproportionen

Unabhängig von der gewählten Fahrzeugarchitektur unterscheiden sich die Maßketten der Karosseriebauform einer Limousine<sup>5</sup>, eines Geländewagens (SUV) und eines Roadsters deutlich von einander. Wie bereits in **Kapitel 2.3.1** genannt, haben sich die Maßketten der genannten Fahrzeugbauformen durch deren Produktion auf Basis von Fahrzeugplattform verwaschen. Ausgangspunkt der folgenden Betrachtungen bilden daher die klassischen Maßketten und Proportionen der Karosseriebauformen dieser Fahrzeuge. Die folgenden Ausführungen basieren auf den Maßketten einer konventionellen Limousinenkarosserie im Vergleich zu den Maßketten eines Geländewagens und einem klassischem Roadster. Die getroffenen Aussagen basieren auf empirischen Analysen einer Vielzahl aktueller Fahrzeuge im Rahmen des Forschungsprojekts Strukturvariabilität. Ein Vergleich des karosseriebauformtypischen Packages ist nur jeweils innerhalb einer Fahrzeugklasse gültig (vgl. Fahrzeugklasseneinteilung).

#### *Fahrzeuginnenrichtung (x-Richtung)*

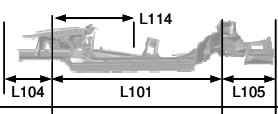
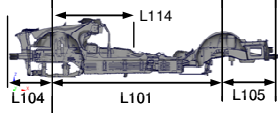
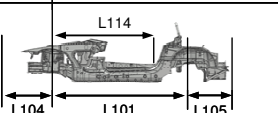
Ausgehend von einer Limousinenkarosserie zeichnet sich der Geländewagen bzw. das SUV durch kurze Überhangmaße (L104 und L105) aus, um durch große Böschungswinkel eine gute Geländegängigkeit zu ermöglichen. Die Fahrzeugmaßketten in x-Richtung für den Vorderbau, die Stirnwand, den Unterboden und den Hinterbau sind zwischen Limousine und Geländewagen konzeptähnlich.

---

<sup>5</sup> Die Limousine soll an dieser Stelle exemplarisch für die artverwandten Karosseriebauformen Touring, Coupe und Cabrio betrachtet werden.



Tabelle 2-4: Proportionsbestimmende L-Maße für Limousine, Geländewagen und Roadster (klassisch).

	L-Maße	L101 Radstand	L104 Überhang vorne	L105 Überhang hinten	L114 Abst. Mitte Vorderachse zu Fahrer-SRP
Limousine		konventionell	konventionell	konventionell	konventionell
Geländewagen SUV		konventionell	kurz	konventionell bis kurz	konventionell
Klassischer Roadster		kurz	konventionell	sehr kurz	lange

Deutlich unterscheidet sich von diesen beiden Konzepten der klassische Roadster. Bedingt durch die Zweisitzigkeit hat dieses Fahrzeug einen deutlich kürzeren Radstand (L101) als die Limousine und der Geländewagen. Wie schon in **Kapitel 2.3.1** beschrieben, zeichnet sich der Karosserieaufbau eines Roadsters mit klassischen Proportionen durch einen langen Vorderwagen und eine weit zurück versetzte Sitzposition des Fahrers und des Beifahrers direkt vor der Hinterachse aus. Kommend von Roadsterfahrzeugen mit Hinterradantrieb soll diese Sitzposition eine direkte Rückmeldung über das Traktionsverhalten an der Hinterachse vermitteln. In der Karosserie erfordern diese Proportionen eine weit vorne angesetzte Vorderachse sowie eine weit zurückversetzte Stirnwand und erzeugen somit einen langen Vorderbau mit langen Motorträgern. Durch den kurzen Radstand (L101) ist aufgrund der Zweisitzigkeit der Unterboden relativ kurz gehalten und schließt direkt nach den Sitzen ab. Viele Roadsterkonzepte verbauen einen senkrecht stehenden Tank, der nach oben fast bis zur Brüstungslinie reicht, um die Hinterachse möglichst nahe an den Sitzen positionieren zu können. Den Hinterbau eines Roadsters kennzeichnet ein relativ kurzer Überhang (L105), der lediglich den Anforderungen des Verdeckkastens und eines kleinen Gepäckraums genügen muss (siehe **Tabelle 2-4**).

#### *Fahrzeugbreite (y-Richtung)*

In der Auslegung der y-Maßketten für Fahrer und Beifahrer sind sich Limousinen- und Roadsterfahrzeuge weitgehend ähnlich, wobei für eine betonte Sportlichkeit der Zwischenraum zwischen Fahrer und Beifahrer bei einem Roadster auch enger gestaltet sein kann.

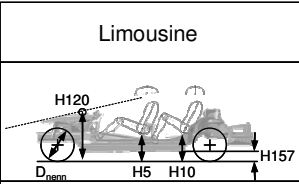
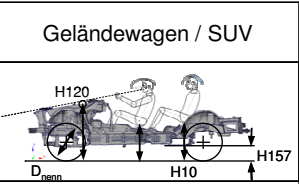
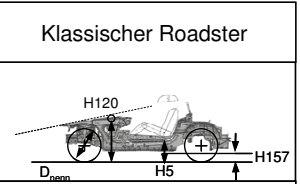
Die größte konzeptionelle Breitenausdehnung hat der Geländewagen. Um im Gelände eine möglichst geringe Kippneigung zu erzeugen, verfügen diese Fahrzeuge über eine möglichst breite Spurweite (W101 und W102). Bei einer solitären Entwicklung eines Geländewagens führt dies im Fahrzeuginneren und vor allem im Fahrgastraum ebenfalls zu einer entspannten Maßkette in der y-Richtung.

#### *Fahrzeughöhe (z-Richtung)*

In Richtung der Fahrzeughöhe sind die größten Unterschiede in den Proportionen der Karosserien von Limousine, Geländewagen und Roadster zu verzeichnen (siehe **Tabelle 2-5**). Die höhenbedingten Differenzierungen haben weitreichende Auswirkungen auf die Gestaltung der Karosseriebodengruppen dieser Fahrzeuge und erzwingen zum Teil auch unterschiedliche x- und y-Maßketten in den jeweiligen Fahrzeugkonzepten. Die die Maßketten bestimmenden Auslegungskriterien der unterschiedlichen Karosseriebauformen sind die Radgröße ( $D_{\text{nenn}}$ ), die Bodenfreiheit (H156), die Sitzhöhe (H5) und entsprechend die Höhe des Windlaufpunkts (H120) gegeben durch Sichtgesetze.

## 2. Differenzierte Karosserien in Produktfamilien

Tabelle 2-5: Proportionsbestimmende H-Maße für Limousine, Geländewagen und Roadster (klassisch).

	Limousine	Geländewagen / SUV	Klassischer Roadster
H-Maße			
H5 / H10 R-Punkt bis Standebene vorne / 2. Sitzreihe	konventionell	hoch	niedrig (H10 nicht existent)
H120 Höhe Windlaufpunkt	konventionell	hoch	niedrig
H156 Bodenfreiheit	konventionell	hoch	gering
$D_{nenn}$ Radnennendurchmesser	konventionell	groß	konventionell

Das zum Geländewagen verwandte *SUV* in Schalenbauweise zeichnet sich im Vergleich zur Limousine durch große Räder ( $D_{nenn}$ ), eine hohe Bodenfreiheit (H156) und eine hohe Sitzposition des Fahrers (H5) und der Insassen (H10) aus. Für eine Geländegängigkeit erhalten diese Fahrzeuge zusätzlich zu den großen Raddurchmessern einen deutlich längeren Federweg als eine Limousine, um eine weite Achsversträngung zu ermöglichen und den notwendigen Federkomfort darstellen zu können. Im Vorderwagen ergibt sich somit eine hohe Lage der Federbeinaufnahmen, was die Fronthaube und damit die gesamte Brüstungslinie geländegängiger Fahrzeuge weit nach oben versetzt. Daraus resultiert ein hoher Windlaufpunkt (H120) und eine hohe Stirnwand. Zusammen mit der für Geländefahrten benötigten hohen Bodenfreiheit (H156 - mind. 203mm für eine Light Duty Truck Zulassung in USA [N7]) erhält der Fahrer für eine gute Übersicht im Gelände und zur Erfüllung der Sichtgesetze eine hohe und aufrechte Sitzposition. Dementsprechend werden die Informationstafel sowie die Lenksäule und deren Durchbruch an der Stirnwand an die hohe Sitzposition angepasst. Für die hohe Bodenfreiheit werden die Bodenbleche weit nach oben gezogen. Da die Motorlage zum Mittelpunkt der Vorderachse zwischen einer Limousine und einem Geländewagen weitgehend unverändert bleibt, erzeugen die angehobenen Bodenbleche im Vergleich zu einer Limousine einen geringen Versatz der Motorträger in z-Richtung. Bei Geländefahrzeugen mit Standardantrieb bewirkt diese Anhebung der Bodenbleche eine geringe Tunnelhöhe, da das Getriebe und die Kardanwelle nicht so weit in das Fahrzeuginnere ragen. Im Hinterbau bewirkt die erhöhte Achslage durch die Bewegungskurven der Lenker des Fahrwerks einen hohen Ladeboden (H253). Generell ist die Tragstruktur von Geländewagen größer dimensioniert als bei einem herkömmlichen Pkw. Gründe hierfür sind eine robuste Steifigkeitsauslegung für den Geländebetrieb als auch die gestiegenen Craschanforderungen bedingt durch das hohe Gewicht dieser Fahrzeuge, die eine entsprechende Dimensionierung der Tragstruktur erfordern.

Ausgehend von der Limousine hat der *Roadster* einen niedrigen Sitzreferenzpunkt (H5) für einen niedrigen Schwerpunkt des Fahrzeugs und eine tief gelegene Brüstungslinie für ein sportliches Aussehen. Das bedingt im Vorderwagen eine niedrige Haubenlage (H120) für die Erfüllung der Sichtgesetze. Durch die tiefe Scheibenlage zeichnet sich die Stirnwand durch eine geringe Höhe aus. Die niedrige Sitzposition schiebt die Sitze und somit das Bodenblech weit nach unten bis auf die gesetzlichen Bodenfreiheitsebenen für Pkw-Fahrzeuge. Für eine günstige Ergonomie des Fahrers müssen die Pedalerie sowie die Lenksäule und die Informationstafel an der Stirnwand entsprechend niedrig angeordnet werden. Die Motorträger vorne und die Längsträger hinten müssen somit auch weit nach unten bis zum Bodenblech reichen und es ergibt sich dadurch ein großer z-Versatz der Träger. Einige Karosserielösungen für Roadsterfahrzeuge verzichten für eine möglichst tiefe Sitzposition auf die Motorträgerstruktur unter den Bodenblechen und leiten die Kräfte direkt seitlich in die Schwellerstruktur ein. Bei Fahrzeugen mit Standardantrieb wird durch die weit unten liegenden Bodenbleche der Tunnel weit über das Schaltgetriebe nach unten gestülpt und im Fahrzeuginnere ergibt sich dadurch ein voluminöser Tunnel. Im Hinterbau muss der geringen Brüstungshöhe und dem Bauraumbedarf des

Tanks, des Verdeckkastens sowie des Überrollschutzes durch eine geringe Höhe der hinteren Radhäuser und Federbeinaufnahmen Rechnung getragen werden. Die Rädergrößen ( $D_{\text{nenn}}$ ) von Roadster und Limousine sind in etwa als gleich zu erachten.

### Fahrzeugklasseneinteilung

Deutliche Differenzierungen in den Längen- Weiten- und Höhen-Maßen der Karosserie sowie in der Positionierung der Insassen zueinander sind zwischen Fahrzeugen in unterschiedlichen Fahrzeugklassen zu erkennen. Um eine Vergleichbarkeit zu schaffen, werden im Rahmen des GCIE- und ECIG-Programms<sup>6</sup> drei Monate nach Serienanlauf eines neuen Fahrzeugs ausgewählte Fahrzeugmaße in Form von Fahrzeugmaßplänen von den teilnehmenden Fahrzeugherstellern untereinander ausgetauscht. Entsprechend der Wertigkeit der Fahrzeuge und der Abmessungen werden die am Markt befindlichen Fahrzeuge in Fahrzeugklassen oder Vergleichsklassen eingeteilt. Herstellerübergreifend und auch in der Literatur (vgl. BRAESS [13]) findet sich hier eine ähnliche Segmentation des Fahrzeugmarktes mit aber zum Teil von einander abweichenden Bezeichnungen. Die in **Tabelle 2-6** dargestellte Vergleichsklasseneinteilung soll im Rahmen dieser Arbeit verwendet werden.

Tabelle 2-6: Vergleichsklasseneinteilung [8] mit Beispielfahrzeugen.

Vergleichsklassen / Segments						
Mikro-Klasse Micro Car Class	Kleinwagenklasse Small Car Class	Kompaktklasse Compact Class	Mittelklasse Medium Class	Obere Mittelklasse Upper Medium Class	Luxusklasse Large Car Class	
Fiat Seicento Peugeot 107 + MCC Smart	- Ford Fiesta VW Polo + Mini	- Fiat Stilo VW Golf + BMW 1er	VW Passat + BMW 3er + Mercedes C-Klasse	+ Volvo V70 + Porsche Boxter + BMW 5er	- Toyota Landcruiser + Mercedes S-Klasse ++ Rollce Royce Phantom	

Für eine feinere Unterteilung in Basis und Premium-Segmente werden die einzelnen Vergleichsklassen durch die Vorzeichen „+“, „++“ oder „-“ ergänzt.

### Zusammenfassung

Wie beschrieben, ist es in den frühen Phasen der Entwicklung einer Produktfamilie unerlässlich sich auf eine bindende Architektur für alle spezifischen Derivate fest zu legen bzw. der Plattform eine Architektur vorzugeben nach der sich alle Derivate strikt zu richten haben, um wirtschaftliche Vorteile erzielen zu können. Produktfamilien mit Derivaten, die auf unterschiedlichen Antriebsarchitekturen basieren, schließen sich in der Regel aus.

Als Ausnahme für die Kombination zweier Antriebsarchitekturen ist der Zusammenschluss einer Mittel- und Heckmotorarchitektur für den Porsche Boxter und den Porsche 911 zu nennen. Beide Fahrzeuge werden in einer Produktfamilie produziert und besitzen nach EHRENSPIEL einen gleichen Vorderbau, eine gleiche Stirnwand mit Komponenten sowie ähnliche Außenhautkomponenten [30].

Erst die Festlegung auf eine feste Architektur für alle Fahrzeuge der Produktfamilie erlaubt eine effiziente Differenzierung der einzelnen Derivate durch Skalierungen an den Proportionen der Plattformarchitektur. In diesem Fall spricht man von einer Produktfamilie auf Basis einer skalierbaren Plattform. Ziel dieses Vorgehens ist es selbst Derivate mit stark unterschiedlichen Proportionen kostengünstig entwickeln und produzieren zu können.

<sup>6</sup> ECIE = European Carmanufacturers Information Exchange  
GCIE = Global Carmanufacturers Information Exchange.

Der Fokus der weiteren Betrachtung im Rahmen dieser Arbeit bildet eine Architektur mit Standardantrieb für Mittelklassefahrzeuge in den Karosserieausprägungen Limousine, SUV und Roadster (siehe **Kapitel 6**).

### 2.4 Ableitung von Derivaten in Produktfamilien

Die *Ableitung von Derivaten in Produktfamilien* ist in dieser Arbeit definiert als der Entwicklungsprozess von Fahrzeugen innerhalb einer Produktfamilie auf Grundlage einer Plattformstrategie.

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Fahrzeuganalysen und empirischen Marktanalysen zu skalierbaren Plattformen für Fahrzeugfamilien, die im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführt wurden, zusammengefasst. Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden allgemeine Mechanismen für die Ableitung von Derivaten in Produktfamilien abgeleitet. Übergreifend werden die standardisierten Bereiche des Plattformkerns und die Bereiche und Mechanismen der Differenzierung und Skalierung in den Karosseriebodengruppen identifiziert.

#### 2.4.1 Fahrzeuganalysen zur Ableitung von Derivaten in Produktfamilien

Zu Beginn des Forschungsprojekts wurden zur Schaffung einer breiten Wissensbasis die aktuellen im Markt vorhandenen Vorgehen zur Ableitung von Derivaten in Produktfamilien analysiert und bewertet. Betrachtet wurden hierbei Produktfamilien der Daimler AG, der BMW Group, des Ford Konzerns, von PSA, von Renault sowie Renault - Nissan, des VW Konzerns und von Toyota. Fokus dieser Fahrzeuganalysen waren die Skalierbarkeit in den Karosseriebodengruppen der Produktfamilien. Analysiert wurde die Verwendung von Gleichteilen, standardisierten Karosserieumfängen und differenzierten Bauteilen als auch die Vernetzung verschiedener Fahrzeugklassen in einer skalierbaren Plattform. Eine erweiterte Betrachtung bildete die architekturbestimmende Verwendung von gleichen und differenzierten Komponenten aus Antrieb, Fahrwerk und Interieur.

Grundlage für diese Analysen bilden die Arbeiten des Autors an den bis auf die Rohkarosserie zerlegten Austauschfahrzeugen auf der Benchmarkingfläche der BMW Group. Hierbei wurden gezielt die Karosserien von Fahrzeugen in skalierten Produktfamilien zusammengestellt, auf Bauteilebene analysiert und verglichen sowie teilweise digitalisiert und einer Analyse im CAD unterzogen. Ergänzend erfolgte eine Analyse der von Benchmarking-Anbietern zur Verfügung gestellten Fahrzeugzerlegeberichte und Fahrzeug-Produktionsort-Stückzahl-Auflistungen. Für das Verständnis der Aufbaureihenfolge der Karosserien wurden Ergebnisse aus dem direkten Dialog mit ausgewählten OEM-Partnern gezogen und soweit verfügbar, OEM-spezifische Schriften zur Reparaturanleitung für deren Fachwerkstätten analysiert. Der Besuch einschlägiger Tagungen sowie die Recherche von vielen weiteren Tagungsbeiträgen und Fachliteratur halfen die Informationen aus der Fahrzeugzerlegung zu vervollständigen und abzurunden.

#### Audi Modularer Längsbaukasten

Der Modulare Längsbaukasten von Audi umfasst die Derivate der Modellreihen A4, A5 und Q5 im B-Segment (WEISS [151]) für den Produktionszeitraum ab 2007 an den Standorten Ingolstadt und Neckarsulm in einer typflexiblen Fertigung. Alle Derivate dieser Plattform basieren auf einem einheitlichen Antriebsbaukasten mit längs eingebauten Motoren sowie einem Achsbaukasten für das vordere und hintere Fahrwerk, LACHER [80]. Alle Derivate des Modularen Längsbaukastens sind in der Karosserie systemgleich aufgebaut, was eine Vereinheitlichung der Fügefolgen und Fügeverfahren im Karosseriebau und der Montage sowie eine Vereinheitlichung der

Materialien in der Karosserie bedeutet Die Flexibilität der Plattform bezieht sich hierbei auf die Abmessungen der Bauteile und nicht auf die Fügefolgen [151]. In den folgenden Ausführungen werden die differenzierten und skalierten Umfänge der Karosserien beschrieben. Alle weiteren Karosserieumfänge sind dem standardisierten Plattformkern der skalierbaren Plattform zuzuschreiben.

Im *Vorderbau* erfolgen Differenzierungen für unterschiedliche Überhanglängen als auch Differenzierungen an den Radhausbaugruppen für die Integration unterschiedlicher Raddurchmesser sowie für die Integration der entsprechenden skalierten Fahrwerkskomponenten. Im *Unterboden* werden durch Längendifferenzierungen an den Bodenblechen mit Tunnel und an der hinteren Sitzwanne in den Derivaten unterschiedliche Radstände realisiert. Im *Hinterbau* werden durch Differenzierungen an der Längsträgerstruktur unterschiedliche Überhanglängen erzeugt [151]. Analog zum Vorderbau erfolgt eine Differenzierung an den Radhausbaugruppen für die Integration der unterschiedlichen Raddurchmesser.

### **BMW Produktlinie**

Die BMW Produktlinie bedient die Fahrzeuge der 5er Baureihe (Oberklasse) und der 6er Baureihe (Luxusklasse) für die Baujahre von 2003 bis 2013. Basierend auf einem gemeinsamen Portfolio für den Komponenten-Baukasten bestehend aus Vorderachse und Hinterachsen, Antriebsprogramm und Interieur- sowie Karosseriekomponenten werden hier Karosserien im Sinne der skalierbaren Plattform aufgebaut. Für die Differenzierung zwischen 5er und 6er werden in der Bodengruppe skalierende Maßnahmen vorgenommen. In den folgenden Ausführungen werden ebenfalls nur die differenzierten und skalierten Umfänge der Karosserien beschrieben.

Im *Vorderbau* erfolgt eine Differenzierung des Überhangs über spezifische Stoßfänger und eine Differenzierung an den Baugruppen der Radhäuser aus Designgründen. Über der *Stirnwand* wird die Lage und Form des Windlaufs gemäß der designspezifischen Scheibenbombierung angepasst, HÄNLE [45]. Entsprechend der Radstandsdifferenzierung zwischen 5er und 6er werden die Bauteile im Unterboden in einer unterschiedlichen Länge ausgeführt, KEMPINGER [66]. Für eine Differenzierung der Ladebreite (W200) zwischen 5er Limousine und 5er Touring werden unterschiedliche Hinterachssysteme verbaut. Diese erfordern jeweils eine weitgehend neue Konzeption des *Hinterbaus*, da sich in den differenzierten Fahrwerkssystemen die Lage und Dimensionierung von Federn und Dämpfern deutlich unterscheiden (vgl. 6.2.2 „Differenzierungen im Hinterbau“). Aufgrund der im 6er Cabrio durch den Verdeckkasten stark angespannten Bauraumsituation in der Z-Richtung wird auch hier die Touring-Hinterachse verwendet. Zusätzlich wird zwischen den 5er- und 6er-Derivaten der hintere Überhang (L105) durch eine differenzierte Länge der Hecklängsträger variiert.

### **Ford C1-Plattform**

Die Ford C1-Plattform ist auf Basis der Strategie einer klassischen Plattform umgesetzt. Lediglich wenige Sonderderivate erhalten weitere Differenzierungsumfänge in der Karosseriebodengruppe. Diese Plattform umfasst 12 Hauptderivate der Marken Ford, Mazda und Volvo die in der Kompaktklasse und der Mittelklasse angeboten und an ca. 14 Standorten in Europa sowie Asien im Zeitraum von 2003 bis 2011 mit einer Stückzahl von ca. 6,3 Mio. Fahrzeugen gefertigt werden CSM AUTOBASE [23]. Als Hauptvertreter sind der Ford Focus und Focus C-Max, der Volvo S40, V50, C30 und C70, sowie der Mazda 3 und 5 bzw. Axela und Premacy zu nennen JATO [61], [104]. Wie in der vorherigen Aufstellung wird nur auf die Differenzierungen zwischen den Derivaten eingegangen. Die nicht genannten Baugruppen sind als standardisiert dem Plattformkern zu zuschreiben.

*Vorderbau*, *Stirnwand* und *Bodenmitte* werden über die gesamte C1-Plattform als standardisierter Umfang verbaut. Hier erfolgen lediglich designrelevante Bauteilanpassungen an den Baugruppen des Wildlaufs, des Schwellers und der vorderen Stoßfängerstruktur, BERGWALL [11],

JONSELL [64], LISENFELDER [84], LISENFELDER [85], OTTOSON [107]. Im *Hinterbau* werden aufgrund der unterschiedlichen Überhanglängen die Längsträger differenziert und der integrale „Rear Floor“ in mindestens zwei unterschiedlichen Varianten ausgeführt WEBER [149]. Weitere Differenzierungen im Hinterbau werden im schwedischen Pinifarina Werk für die Produktion des Volvo C70 Cabrios vorgenommen LASSL [78]. In Summe haben fast aller Derivate der C1-Plattform einen einheitlichen Radstand von 2640 mm und eine einheitliche Reifengröße [61]. Die Ausnahme bilden hierbei der Mazda 5 bzw. Premacy, die einen längeren Radstand aufweisen [61] und somit im Unterboden eine Längendifferenzierung erfahren.

### **Nissan-Infiniti FR-L Plattform**

Die Derivate der FR-L Plattform im Renault-Nissan Konzern werden von Nissan für den Mittel- und Oberklassemarkt entwickelt und werden überwiegend unter dem Markennamen Nissan in Asien als Rechtslenkerfahrzeuge und unter dem Markennamen Infiniti in den USA als Linkslenkerfahrzeuge vertrieben. Mit einem Gesamtvolumen von deutlich unter einer Mio. Fahrzeugen im Zeitraum von 2000 bis 2010 [23] ist die FR-L Plattform eine im Vergleich volumenschwache Plattform. Als besonders interessant an der Nissan FR-L Plattform erweist sich, dass hier auf Basis einer Mittelklasse-Limousine die Ableitung eines Mittelklasse Roadsters und eines Oberklasse SUVs sowie weiterer Derivate erfolgt. Die sehr weite Spreizung in den Proportionen der Derivate wird durch die Skalierbarkeit der Plattform abgefangen. Im Rahmen der Fahrzeuganalysen des Forschungsprojekts [139] wurde herausgestellt, dass die von dem Basisfahrzeug abgeleiteten Derivat-Bodengruppen nach einem Baukastenprinzip aufgebaut sind. Derivate, die eine von der Basis maßlich große Spreizung aufweisen, werden im Bereich der Spreizung durch spezifische aber konzeptgleiche Bauteile und Baugruppen ergänzt. Diese Bauteile und Baugruppen werden nach dem Baukastenprinzip selbst wiederum in weiteren Derivaten der Plattform baugleich aber in einer anderen Kombination verbaut. Zusätzlich werden einige Baugruppen aus der Basis generationsübergreifend eingesetzt, was in den kurzen Produktzyklen von fünf Jahren begründet ist.

Laut URAKAMI [147] wird in der FR-L Plattform auf Basis der Limousinen Infiniti G35 bzw. Nissan Skyline der Kombi Nissan Stagea mit einem Übernahmeanteil von 90% in der Bodengruppe dargestellt. Hierbei erfolgt eine Differenzierung an den Radhausbaugruppen aufgrund der Verwendung einer spezifischen Hinterachskonstruktion für die Ladebreite des Kombis.

Die Ableitung des Infiniti G35 bzw. Nissan Skyline Coupe erfolgt mit 80% Übernahmeanteile [147] aus der Basis. Differenziert werden hierbei die hinteren Radhäuser aus Designgründen und für einen kürzeren Überhang werden die Längsträger und der Gepäckraumboden spezifisch, in gekürzter Form dargestellt.

Die Ableitung des Roadsters Nissan 350Z, bzw. 350 Fairlady erfordert im *Vorderbau* für eine geringe Brüstungshöhe spezifische Radhausbaugruppen, die aber zur Basis konzeptgleich ausgeführt sind sowie eine spezifische *Stirnwand* mit Windlauf, die ebenfalls zur Basis konzeptgleich ausgeführt sind. Im *Unterboden* ist das Bodenblech ein gekürztes Synergieteil des Standardantrieb-Bodenblechs mit konzeptkommunalen Sitzquerträgern für eine niedrige Sitzposition. Der Wert für L114 ist somit zwischen Basis und Roadster gleich. Die gesamte *Hinterbaustruktur* ist kommunal bzw. synergetisch aus der Basis übernommen. Für einen kurzen hinteren Überhang (L105) werden lediglich die Längsträger gekürzt verbaut. Trotz der Zweisitzigkeit befindet sich somit hinter den Sitzen des Fahrers und Beifahrers eine Karosseriestruktur mit der hinteren Sitzwanne. Hierdurch wird zwar eine kommunale und kostengünstige Übernahme der Kraftstoffversorgungsanlage realisiert und im Bauraum über der Sitzwanne können der Überrollschutz sowie der Verdeckkasten gepackaged werden, jedoch können klassische Roadsterproportionen durch dieses Karosseriekonzept nicht dargestellt werden. Der 350Z hat einen KIRP von 0,58 und ist laut Definition ein Zweisitziges Cabrio.

Für die Ableitung des Infiniti FX45 SUV werden aus der Basis die *Stirnwand*, der gesamte Un-

*terboden* sowie Teile der hinteren Längsträger übernommen. Der Übernahmegrad an Bauteilen beträgt dabei 40% [147]. Die Differenzierungen im *Vorder- und Hinterbau* sowie am Windlauf resultieren aus den zur Basis deutlich größeren Raddurchmessern, die eine spezifische Fahrwerkskonstruktion erfordern. Alle spezifischen Baugruppen des SUVs sind aber wiederum zur Basis konzeptgleich aufgebaut.

Das Oberklasse-Derivat Nissan Fuga bzw. Infiniti M45 ist der nächsten Generation der Nissan FR-L Plattform zuzuordnen. Für dessen Ableitung werden aus der Basis Teile der Motorträger, die Stirnwand sowie Teile des Hinterwagens übernommen, was auf eine Übernahme des Motorraum- und Stirnwandpackages sowie der Tankblase schließen lässt. Der Übernahmegrad in der Bodengruppe beträgt 32% [147]. Die restlichen Baugruppen in der Bodengruppe sind im Vergleich zu den anderen Derivaten der Plattform weitgehend neu gestaltet.

### Renault B-Plattform

Die Renault B-Plattform umfasst mind. 14 Derivate der Marken Renault, Nissan und Dacia in der Kompaktklasse, die weltweit an knapp 20 Standorten im Zeitraum von 2002 bis 2011 mit prognostiziert 13 Mio. Einheiten produziert werden [23], [102]. Die in Europa bekanntesten Derivate der B-Plattform sind der Renault Clio, der Nissan Micra und der Dacia Logan. Für den asiatischen Markt werden unter der Marke Nissan viele zusätzliche Derivate angeboten. Der Dacia Logan (Mj. 2004) wird laut CSM AUTOBASE [23] als baugleiches Fahrzeug unter dem Namen Renault Logan in den Märkten Afrika, Asien und China vermarktet.

Für die Ableitung der Nissan-Derivate werden laut OZAWA [108] 50% Bauteile baugleich aus der B-Plattform von Renault übernommen. Diese Bauteile umfassen dabei den *Vorderbau*, die *Stirnwand* und den *Unterboden*. Alle Derivate erhalten dabei eine designspezifische Ausführung des Windlaufs. Der *Hinterbau* der Derivate wird in Abhängigkeit der Hersteller spezifisch entwickelt und produziert ([108], LAVOISIER [79]), was sich an der hohen Anzahl an unterschiedlichen Radständen der Derivate widerspiegelt [61]. Die Renault B-Plattform ist daher als eine skalierbare Plattform zu bezeichnen. Die vorderen und hinteren Spurweiten aller Derivate bewegen sich in einem engen Bereich von +/- 20mm [61] was auf die Verwendung eines standardisierten Fahrwerkkonzepts für die gesamte Plattform schließen lässt.

### Renault D-Plattform

Die Renault D-Plattform stellt unter Anderem die Basis für den Renault Laguna, Espace und Nissan Primera in der Mittelklasse und den Renault Vel Satis in der Oberen Mittelklasse [102] im Zeitraum von 2000 bis 2009 [23].

Alle der Renault-Derivate werden nach Richard [121] mit den baugleichen Motorträgern und Radhäusern ausgestattet. Der Renault Laguna und Vel Satis verwenden weiterhin gleiche Bauteile an der *Stirnwand*, im *Unterboden* und teilweise im *Hinterbau*. Für die Darstellung des spezifischen Designs und differenzierter Überhanglängen erfolgen für diese Fahrzeuge Differenzierungen am Windlauf, den Schwellern und an den hinteren Längsträgern sowie dem Gepäckraumboden. Der Renault Espace erhält als einziges Fahrzeug der Plattform einen spezifischen, gesamthaft ebenen Fahrzeugboden, der sich von der Stirnwand bis zum Heckabschluss erstreckt [121], kann aber aufgrund der Plattform-Motorträger das Motorraumpackage sowie das Vorderachskonzept und somit Teile der Produktionseinrichtungen der Plattform mit verwenden. Viele der differenzierten Bauteile in den Derivaten sind aber nach demselben Konzept aufgebaut [121].

### Toyota - Lexus IS und GS

Die Fahrzeuge Lexus IS (Mittelklasse) und GS (Oberklasse) sind Derivate der 740N/620N Plattform von Toyota [103]. Für die Analysen des Forschungsprojekts wurden die Rohkarosserien

dieser Fahrzeuge digitalisiert und die entstandenen CAD-Daten analysiert.

Der Lexus IS und GS verwenden das gleiche Motorraum- und Stirnwandpackage sowie ein skaliertes Fahrwerkskonzept. Die Bauteile im *Vorderbau* und an der *Stirnwand* sind nahezu baugleich. Basierend auf einem baugleichen Vorderachsträger werden aber wegen der differenzierten Radgröße zwischen IS und GS skalierte Fahrwerkskomponenten eingesetzt, die eine Skalierung der Radhausbaugruppe zwischen IS und GS erfordern. Für den differenzierten vorderen Überhang werden differenzierte Stoßfänger verwendet. Auch erfolgt eine Differenzierung des Windlaufs aus Designgründen. Die Radstands differenzierung zwischen IS und dem größeren GS erfolgt durch eine Kürzung des Tunnels und der Bodenblechen im *Unterboden* des IS. Die Breitendifferenzierung zwischen den Passagieren bei IS und GS erfolgt auf Basis gleicher Sitzquerträger über ein jeweils differenziertes Sitzgestell. Die Differenzierung der Gesamtfahrzeugbreite resultiert lediglich aus einer differenzierten Bombierung im Seitenrahmen. Die Schwellerstruktur wird konzeptgleich, in skaliertem Länge eingesetzt. IS und GS verwenden einen nahezu baugleichen *Hinterbau*. Das Tankvolumen der Fahrzeuge wird trotzdem über verschiedene Tankblasen differenziert. Die Differenzierung des hinteren Überhangs erfolgt jeweils über eine spezifische Ausführung der Abschlussbauteile der Hecklängsträger und des Gepäckraumbodens [141].

### Volkswagen PQ35/PQ36 – PQ46

Die Plattform PQ35<sup>7</sup>, die Golfplattform mit über 10 Mio. prognostizierten Einheiten von 2003 bis 2011 [23] und die Nachfolgerplattform, die PQ36 sowie die Passatplattform PQ46 sind die volumenstärksten Plattformen des Volkswagen Konzerns. Die Golfplattform umfasst dabei als PQ35 14 Derivate [101] und als PQ36 18 Derivate [105]. Bekannteste Vertreter der sind der Audi A3 und Audi TT, der Seat Leon und Altea, der Skoda Octavia und der VW Golf, Jetta, Scirocco und Touran ([101], [105], RENNER [119]). Die PQ46 ist die Basis für mindestens sechs Derivate [105]. Bekannteste Derivate sind der VW Passat, das davon abgeleitete Coupe, der Eos und der Skoda Superb.

Die Plattformen PQ35, PQ36 und PQ46 sind im Einzelnen betrachtet im Sinne einer *klassischen Plattform* aufgebaut, bei der auf einer unveränderbaren Bodengruppe die individualisierten Karosseriegerippe je Derivat appliziert werden ([60], RENNER [119]). Skalierungen an der Plattform werden lediglich für die Ableitung der Sonderderivate VW Touran und Caddy Van im Unterboden und im Hinterbau vorgenommen.

Im direkten Vergleich weisen die Plattformen PQ35 und PQ46 im Bereich des Vorderbaus und im Bereich der Schnittstellen zum hinteren Fahrwerk eine sehr hohe Verwandtschaft auf. Im Rahmen der Fahrzeuganalysen des Forschungsprojekts wurden als Treiber für die plattformübergreifende Standardisierung die Verwendung eines einheitlichen Motorraum- und Stirnwandpackages sowie eines standardisierten Fahrwerkskonzepts für Vorder- und Hinterachse identifiziert [140] (siehe auch [100]).

Im Detail betrachtet, sind die Bauteile der PQ35- und PQ46-Derivate im Bereich des *Vorderbaus* und der *Stirnwand* konzeptgleich aufgebaut. Sie haben eine gleiche Basisgeometrie, werden nach der gleichen Folge im Karosseriebau gefügt und weisen identische Schnittstellen zu den Komponenten des Motorraums, der Stirnwand sowie zum vorderen Fahrwerk auf. Funktionsbedingt sind die Bauteile aber in ihrer Materialgüte und Wandstärke zwischen PQ35 und PQ46 skaliert als auch die Anzahl der Fügeinhalte differenziert. Für einen größeren vorderen

---

<sup>7</sup> PQ36 := Plattform mit Quermotor, Fahrzeuggruppe 3 der 5. Generation.



Überhang sind die Motorträger in der PQ46 um 50mm länger ausgeführt. Im *Unterboden* weisen die Baugruppen der PQ35 und der PQ46 ebenfalls eine hohe Konzeptähnlichkeit auf. Differenzierungen erfolgen jedoch in der Bauteiltrennung für Tunnel und die Bodenbleche, als auch für die Materialwahl. Die PQ46-Derivate erhalten dabei ein vierteiliges Bodenblech mit einem warm umgeformtem Tunnel HILLMANN [54]. Die PQ35-Derivate erhalten ein einteiliges Bodenblech. Auch ist der Verlauf der hinteren Motorträger im Unterboden zwischen den Plattformen differenziert. Im *Hinterbau* weicht das Bauteilkonzept von einander ab, jedoch die Schnittstellen zum Fahrwerk sind zwischen PQ35 und PQ46 zueinander identisch.

Die Plattformen PQ35 und PQ46 können daher als zueinander *skalierte Plattformen* bezeichnet werden. Einige Derivate bedienen sich in diesem Zusammenhang in der Zusammenstellung der Baugruppen ihrer Bodengruppen aus der Golf- sowie der Passatplattform. Als Beispiel sind hierbei der VW Tiguan sowie der VW Eos zu nennen. Nach PISKUN [113] verwendet der VW Tiguan den *Unterbau* des Passats und den *Hinterbau* des Golfs.

Mit weitaus größeren Differenzierungen wird zusätzlich bei Audi der TT-Roadster Mj. 2007 aus der PQ36 abgeleitet [142]. Hierbei ist nach TIMM [145] die Karosserie im Bereich *Vorderbau*, *Stirnwand* und *Bodenmitte* aus spezifischen Bauteilen in Aluminumschalen- und Profilbauweise aufgebaut. Die Bauteile und Baugruppen sind dabei an das Package des Komponenten-Baukastens der Golfplattform angepasst. Der Wert L114 zwischen Basis und abgeleitetem Roadster ist somit vergleichbar. Der Hinterwagen ist in konventioneller Stahlschalenbauweise aufgebaut [145] und wird weitgehend baugleich aus der Produktfamilie übernommen, um ebenso das Kraftstoffversorgungssystem sowie das hintere Fahrwerk aus der Produktfamilie übernehmen zu können. Wie bei dem Nissan 350Z ist durch dieses Ableitungsvorgehen die Darstellung klassischer Roadsterproportionen nicht realisierbar.

### Volvo P2-Plattform

Die Volvo P2-Plattform ist eine skalierbare Plattform für die Volvo-Fahrzeuge S60, V70, XC70 und XC90 in der Mittel- sowie Oberklasse. Nach der Übernahme der Volvo Car-Devision durch Ford 1998 wurden zusätzlich die Derivate Ford Five Hundred und Ford Freestyle sowie der Mercury Montego auf Basis dieser Plattform ausgeleitet [104]. In Summe werden im Zeitraum von 1998 bis 2011 ca. 3,6 Mio. Einheiten für diese Plattform prognostiziert (CSM AUTOBASE [23]).

Laut NYSTRÖM [106] und WAN [149] bildet der Volvo S80 die Basis für die Derivateableitung. Im *Vorderbau* werden für die Darstellung drei unterschiedlicher Überhanglängen die Motorträger der abgeleiteten Derivate gekürzt als auch in einer differenzierten y-Pfeilung dargestellt. Ebenso werden entsprechend der Fahrzeugklasse die Radhaus-Baugruppen differenziert. Für die jeweiligen Derivate erfolgt dies über den gezielten Einsatz standardisierter, skaliertes und differenzierter Bauteile. Auch erfährt die *Stirnwand* eine Differenzierung. Unter Anderem wird in den Derivaten eine zum S80 schmalere Breite der Frontscheibe realisiert. Im *Unterboden* werden ausgehend vom S80 für eine Radstandsdimensionierung Bodenblech und Tunnel in drei unterschiedlichen Längen ausgeführt. Auch wird der *Hinterbau* ausgehend vom S80 in drei unterschiedlichen Überhanglängen dargestellt, was ebenfalls über einen gezielten Einsatz standardisierter, skaliertes und differenzierter Bauteile erfolgt [106].

## 2.4.2 Klassifizierung Ableitungsvorgehen für Fahrzeugfamilien

In diesem Abschnitt sollen die zuvor geschilderten Ableitungsvorgehen allgemein klassifiziert werden.

### Horizontale Ableitung

Der Begriff *horizontale Ableitung* bezeichnet in Anlehnung an CORNET [21] die Entwicklung von Derivaten einer Produktfamilie in der Ebene einer Fahrzeugklasse. Die horizontale Ableitung erstreckt sich zumeist auf Modellreihen die nach dem Prinzip einer klassischen Plattform mit den entsprechenden Fahrzeugtypen Limousine, Kombi, Coupé und ggf. Fließheck erstellt werden (siehe **Bild 2-19**, Nr.1-4). Stärker differenzierte Derivate in horizontaler Richtung wie Cabrios, SUVs, Raumfunktionale Fahrzeugkonzepte (RFK), Vans und Pick Ups (**Bild 2-19, Nr.10-30**) [138] erfordern meist weiterführende Differenzierungsmaßnahmen in der Bodengruppe.

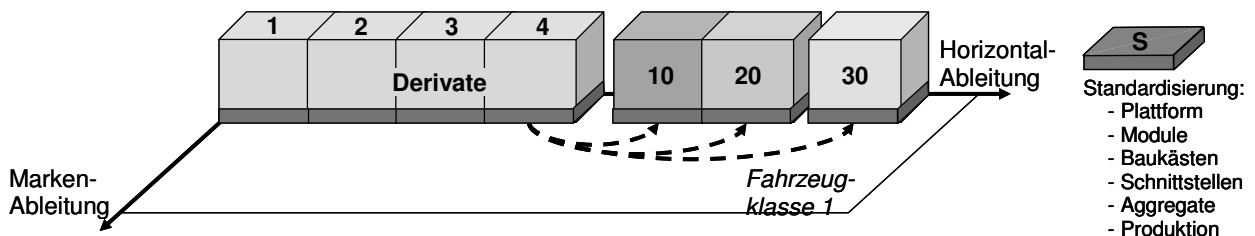


Bild 2-19: Schematische Darstellung der horizontalen Ableitung von Derivaten [138].

Dieses Ableitungsvorgehen wurde hauptsächlich früher angewendet, bevor die eigenständigen Traditionsmarken in zu globalen Mehrmarkenkonzernen zusammengefasst wurden.

### Horizontale Markenableitung

Bei großen Mehrmarken-Konzernen wird der gemeinsame Standardisierungsansatz übergreifend in den Modellreihen unterschiedlicher Marken des Konzerns im Sinne einer Plattformstrategie nach SCHMIEDER [131] angewandt. Ein solches Vorgehen wird als *horizontale Markenableitung* oder nur Markenableitung definiert [138], siehe **Bild 2-20**. Die karosserieseitige Ausprägung der horizontalen Markenableitung ist geprägt durch die jeweilige Marktpräsenz der einzelnen Konzernmarken. Sind die jeweiligen Marken der Plattform gleichzeitig in einem Markt präsent, so erfolgt eine Differenzierung des Designs im Karosseriegerippe und in der Ausstattung, um eine differenzierte Marktpreispositionierung der Derivate vor den Kunden zu rechtfertigen.

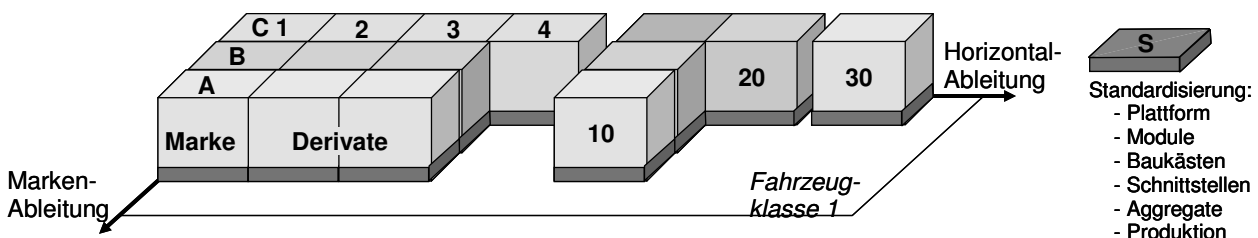


Bild 2-20: Schematische Darstellung der horizontalen Markenableitung [138].

Als Beispiel für diese Ableitungsstrategie sind die Ford C1 Plattform, die Renault B-Plattform sowie die Volkswagen PQ35/36 und PQ46 zu nennen.

### Vertikale Ableitung

Wenn es strategisch vorgesehen ist verschiedene Marktpreissegmente mit demselben Standardisierungsansatz zu bedienen, kann man in Anlehnung an MEYER [94] von einer *vertikalen Ableitung* sprechen. Bezogen auf die Automobilindustrie bedeutet das eine Gestaltung einer Produktfamilie derart, dass die Derivate in unterschiedlichen Fahrzeugklassen positioniert werden können (siehe **Bild 2-21**). Um eine eindeutige Differenzierung zwischen den Fahrzeugklassen zu erreichen, ist es in Hinsicht auf die Karosserie notwendig, eine deutlich für den Kunden wahrnehmbare Unterscheidung in den Karosserieverhältnissen vorzunehmen [138]. Diese Unterscheidungen basieren auf geänderten Proportionen in der Karosseriebodengruppe im Sinne der skalierbaren Plattform.

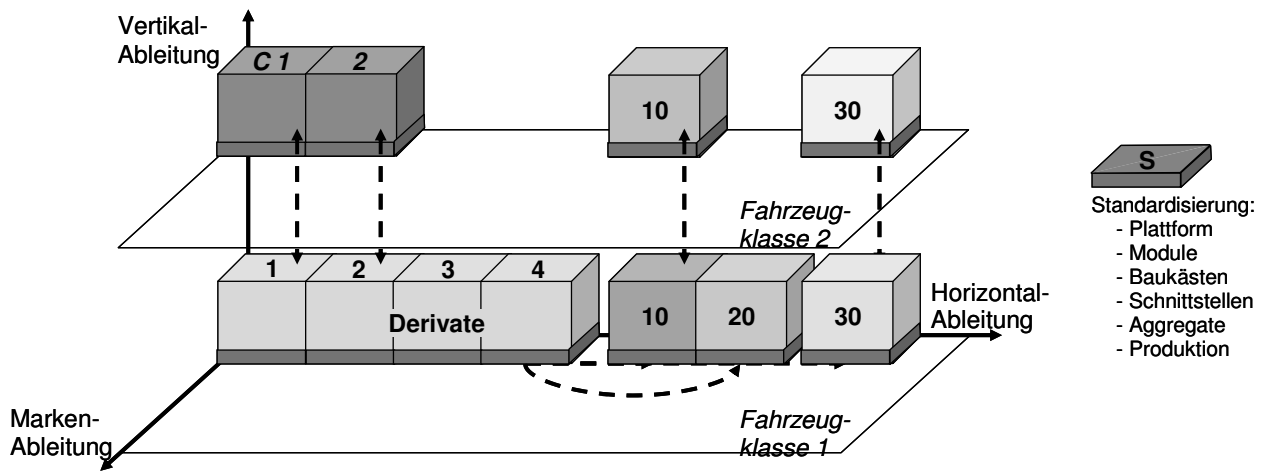


Bild 2-21: Schematische Darstellung der vertikalen Ableitung von Derivaten [138].

Der Modulare Längsbaukasten von Audi sowie die BMW Produktlinie können als Beispiel für dieses Ableitungsvorgehen genannt werden.

### Multidirektionale Ableitung

Werden wie in **Bild 2-22** dargestellt, innerhalb einer Produktfamilie Karosseriederivate in horizontaler sowie vertikaler Richtung für unterschiedliche Marken des Konzerns abgeleitet, so ist dies als *multidirektionale Ableitung* zu bezeichnen [138].

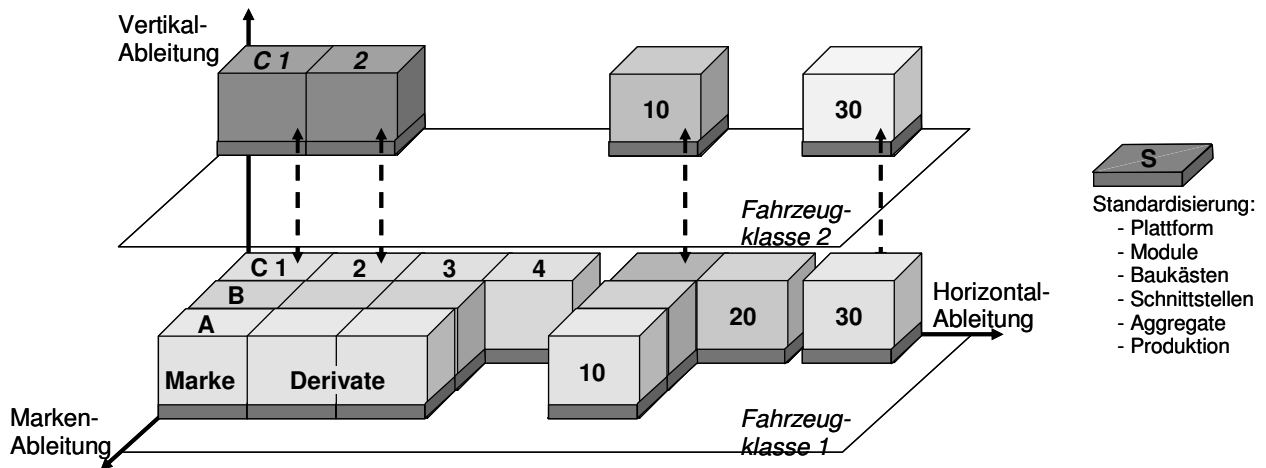


Bild 2-22: Schematische Darstellung - Multidirektionale Ableitung [138].

Beispiel hierfür sind von Nissan-Infiniti die FR-L Plattform, die D-Plattform von Renault, die Volvo P2-Plattform sowie die skalierbare Plattform PQ35-PQ46 von Volkswagen.

### 2.4.3 Standardisierung und Differenzierung in Pkw-Karosserien

Nach der Klassifikation allgemeiner Ableitungsvorgehen soll nun in diesem Abschnitt auf die karosserieseitige Lösung von Ableitungsvorgehen im Sinne einer *skalierbaren Plattform* eingegangen werden. Hierzu erfolgt zuerst eine Definition allgemeiner Begriffe zu Standardisierung und Differenzierung von Karosserien. Anschließend werden die karosserieseitigen Lösungen für Standardisierung und Differenzierung in der Karosseriebodengruppe erläutert.

#### Definitionen

*Kommunal* ist im Folgenden gleich zu setzen mit dem Begriff *standardisiert*.

Der Begriff der *Kommunalität* im technischen Sinne stammt aus der Luftfahrttechnik. Hier wird der Begriff erstmals für Produktfamilien verwendet. Nach KRAUS werden im zivilen Luftfahrzeugbau zur Erfüllung unterschiedlicher Nutzlast-Reichweiten-Forderungen Flugzeugmuster ausgelegt, bei denen unter dem Aspekt der Kommunalität die Varianten- und Derivatentwicklung betrachtet wird. Kommunalität wird dabei so verstanden, dass zwischen unterschiedlichen Flugzeugmustern ein möglichst großes Maß an Übereinstimmungen (Rumpf-, Flügel-, Cockpit-auslegung, Systeme) erzielt werden kann, was aber nicht notwendigerweise eine völlige Identität der Strukturen bedeutet [74].

*Kommunalität* in automobilen Produktfamilien bezogen auf die Karosseriestruktur wird im Rahmen dieser Arbeit wie folgend definiert:

#### *Spezifisches Bauteil:*

Ein derivatspezifisches Bauteil, die Verwendung erfolgt in nur einem Derivat der Produktfamilie.

#### *Kommunale Bauteile:*

Bauteile mit gleicher Geometrie, gleich zu setzen mit Bauteilen aus einem gleichen Ziehwerkzeug. Die Verwendung erfolgt in mehreren Derivaten der Produktfamilie.

#### *Synergieteile:*

Bauteile aus einem gleichen Ziehwerkzeug, in ihrer Länge unterschiedlicher beschnitten. Die Verwendung erfolgt in mehreren Derivaten der Produktfamilie.

#### *Konzeptkommunale Bauteile:*

Spezifische Bauteile, die aber auf einer konzeptkommunalen (konzeptgleichen) Geometrie basieren, in unterschiedlicher Skalierung ausgeführt sind und kommunale Schnittstellen zur Bauteilperipherie aufweisen. Diese Bauteile stellen die Voraussetzung für einen typflexiblen Karosseriebau. Die Verwendung erfolgt in mehreren Derivaten der Produktfamilie.

#### *Schnittstellenkommunale Bauteile*

Spezifische Bauteile mit Schnittstellen zur Befestigung von plattformübergreifenden Komponenten. Die Verwendung erfolgt in nur einem Derivat der Produktfamilie.

### Standardisierung von Karosseriebodengruppen

Aufbauend auf den empirischen Marktanalysen im Forschungsprojekt Strukturvariabilität wurden Bereiche in der Karosseriebodengruppe identifiziert, die herstellerübergreifend einer Standardisierung unterzogen werden. Primärer Treiber für die Kommunalität in der Bodengruppe ist

die hohe Kapitalbindung und die hohen Herstellkosten der Komponenten aus Antrieb, Fahrwerk und Interieur. Sekundärer Treiber für die Kommunalität der Karosserieteile ist der Produktionsprozess der Karosserie selbst. Hierbei ergeben sich wechselseitige Beziehungen zwischen der Kommunalität in Produkt und Produktion, siehe **Bild 2-23**.

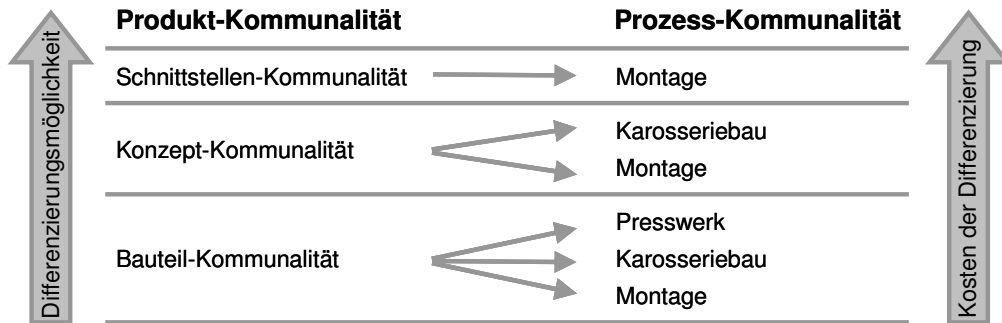


Bild 2-23: Interaktion zwischen Produkt- und Prozesskommunalität.

In einer Zusammenfassung aus den Fahrzeuganalysen sind die herstellerübergreifend als kommunal den Plattformkern zu zuweisenden Bereiche der Bodengruppe in **Tabelle 2-7** dargestellt. Die Übersicht erfolgt dabei mit einer Identifikation der kommunalen Baugruppen sowie mit einer Zuordnung der jeweiligen Kommunalitätstreiber aus dem Komponentenbaukasten.

Tabelle 2-7: Herstellerübergreifend kommunale Bauteilbereiche in der Bodengruppe und deren Kommunalitätstreiber.

Bereich	Kommunalitätstreiber	Kommunale Baugruppen
<b>1</b>	Antriebskonzept, Motorraumpackage, Fahrwerk vorne.	Motorträger, Lagerung Vorderachsträger, Motorlagerungen, Federbeinaufnahme.
<b>2</b>	Stirnwandpackage: Lenksäulendurchbruch, Pedalerie, Hauptbremszylinder, Heiz-Klima-Anlage	Stirnwandunterteil, Stützträger Stirnwand.
<b>3</b>	Antriebskonzept, Fahrerarbeitsplatz – Ergonomie, Sitzkonzept.	Bodenblech li/re, Tunnel.
<b>4/5</b>	Kraftstoffversorgungsanlage, Fahrwerk hinten.	Fersenblech, Sitzwanne, Längs- und Querträger, Lagerung Hinterachsträger, Feder- Dämpferaufnahme.

### Differenzierung von Karosseriebodengruppen

Die Integration differenzierter Bauteile in den Derivatbodengruppen einer skalierbaren Plattform erfolgt aus *funktions-* und *proportionsgetrieben* Aspekten.

In Plattformen mit einer klassischen Zweiteilung des Produkts in eine starre Plattform und einen Individualteil nach SCHMIEDER [131] und CORNET [21] erfolgen *funktionsgetriebene Differenzierungen* bei den Derivaten mit besonderen Ansprüchen an die kommunale Basis. Zu nennen sind hierbei Derivate wie Cabrios oder sehr schwere Derivate. Diese Derivate benötigen in ihren Bodengruppen derivatspezifische Verstärkungsmaßnahmen zur Erfüllung der funktionalen Anforderungen. Diese Maßnahmen sind im Folgenden als Stand der Technik zu erachten.

## 2. Differenzierte Karosserien in Produktfamilien

*Proportionsgetriebene Differenzierungen* basieren auf den identifizierten Differenzierungen der Derivatbodengruppen bezüglich *Fahrzeuglänge*, *Fahrzeugbreite* und *Fahrzeughöhe*. Als Ergebnis der Fahrzeuganalysen konnte festgestellt werden, dass herstellerübergreifend ähnliche Schnittstellen und Bauteile in den Karosseriebodengruppen differenziert bzw. skaliert werden. Diese wie **Kapitel 2.2.5** beschriebenen *Skalierungsanteile* befinden sich hierbei an den Grenzen der zuvor als kommunal identifizierten Karosseriebereiche. So wird erreicht die Karosserien zu differenzieren und gleichzeitig die plattformbedingten kostenseitigen Skaleneffekte in der Produktion zu nutzen. Mit der Skalierung der *Proportionen* geht bei der Ableitung der Derivate auch eine *Änderung der Funktion* einher, was bei der Auslegung der Derivate bereits in den frühen Entwicklungsphasen berücksichtigt werden muss.

Die Differenzierung der Bodengruppen ist folgend in vier Hauptgruppen einzuteilen:

- Differenzierung der Fahrzeuglänge
- Differenzierung der Fahrzeugbreite
- Differenzierung der Fahrzeughöhe und
- Differenzierung der Dimensionierung der Tragstruktur.

Die Skalierung der Karosseriebereiche erfolgt dabei durch die in der empirischen Marktanalyse identifizierten Mechanismen, siehe **Bild 2-24**. Diese sollen anschließend erläutert werden.

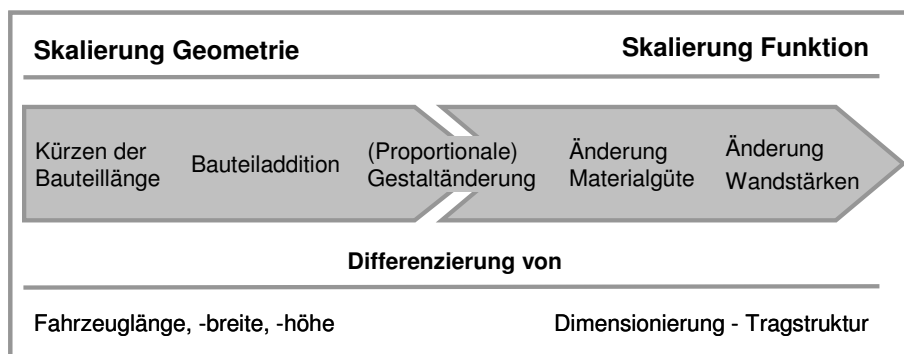


Bild 2-24: Mechanismen und Wirkungsbereich von Skalierungen in der Karosseriebodengruppe.

Die Längendifferenzierung durch das *Kürzen* der Bauteile setzt einen parallelen Bauteilverlauf senkrecht zu den kürzenden Ebenen voraus. In der Entwicklung dieser Bauteile muss auf eine robuste Auslegung der Bauteile gegenüber den Anforderungen aller Derivate der Produktfamilie geachtet werden.

Die *Addition* von Bauteilen ermöglicht eine Längendifferenzierung auch auf Basis bereits bestehender Strukturen. Bei diesem Vorgehen werden kommunale Karosserieteile durch Trägerverlängerungen überschuhrt oder durch Adapterbleche verlängert.

Bei einer *Gestaltänderung* oder *proportionalen Gestaltänderung* werden für die Derivate jeweils neue (spezifische) Bauteile in unterschiedlichen Größen- und Formskalierungen entwickelt, die aber im Sinne einer Schnittstellenkommunalität den kommunalen Verbau der Baukasten-Komponenten ermöglichen. Eine Konzeptkommunalität kann zusätzlich eine Integration in die Produktionsprozesse im Karosseriebau ermöglichen.

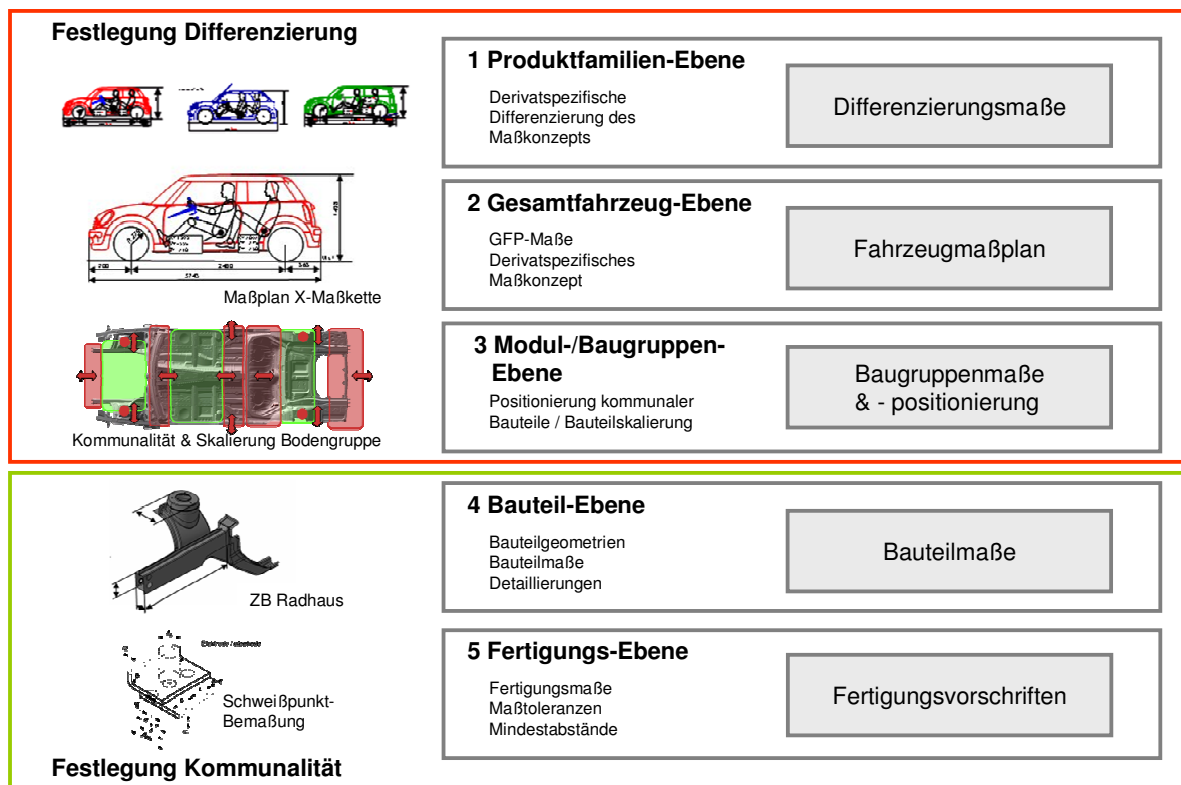
Die *Änderung der Materialgüte* und / oder *Wandstärke* erfolgt in den meisten Fällen für konzeptkommunale Bauteile. Diese Maßnahme hilft z.B. bei einem geänderten Gesamtfahrzeuggewicht die Bauteile auf die jeweiligen Crash- oder Steifigkeitsanforderungen zu optimieren, dadurch Gewicht und Kosten zu sparen und gleichzeitig die Produktionsprozesse im Karosseriebau für diese Bauteile übernehmen zu können.

## 2.4.4 Derivatableitung und Karosseriemaße

Für eine eindeutige Beschreibung des Ableitungsvorgehens soll die Bemaßung der Karosserie in unterschiedliche Detaillierungsebenen aufgeteilt werden. Wie in **Tabelle 2-8** aufgelistet, reichen diese Ebenen vom Maßkonzept auf Produktfamilien- und Gesamtfahrzeugebene (DIN 70020-1 [N4]) über Baugruppen- und Bauteilmaße bis hin zu der Bemaßung der fertigungsrelevanten Detailgeometrien der Bauteile. Die Detaillierung der Bemaßung nimmt in dieser Systematik von Ebene 1 bis Ebene 5 zu.

Im Entwicklungsprozess erfolgt die Beschreibung der Fahrzeugderivate zu Beginn der Strategiephase allein über Fahrzeugmaßpläne, siehe **Tabelle 2-8** (Ebene 1&2). Auf Basis dieser derivatspezifischen Fahrzeugmaßpläne wird dann ein eindeutiges Maßkonzept für alle Karosseriebaugruppen der zueinander skalierten Derivate im Sinne einer Ableitungslogik entwickelt (Ebene 3). Diese Baugruppenbemaßung erlaubt dabei die kommunalen und skalierten Bereiche der Karosserie zu beschreiben. Die Entwicklung der skalierten bzw. differenzierten Karosseriebereiche wird dabei durch die in Ebene 4 festgelegten kommunalen Bauteilmaße und die in Ebene 5 definierten Fertigungsvorschriften untermauert. Die Entwicklung der Ableitungslogik erfolgt somit Top-Down aus den differenzierten Maßanforderungen der jeweiligen Derivate und Bottom-Up aus den kommunalen Bauteilbereichen und den kommunalen Fertigungsanforderungen des Plattformkerns.

Tabelle 2-8: Hierarchische Untergliederung der Bemaßung einer Karosserie.



Haben sich die Maßketten bezüglich der Ableitungslogik und des Kommunalitätsansatzes im Laufe der Produktfamilienentwicklung gefestigt, so ist es zielführend die Differenzierung der Derivate auf einige wenige Differenzierungsmaße in der Karosserie zu beschränken. Diese Differenzierungsmaße steuern dann die Skalierung innerhalb der Produktfamilie und erlauben die Karosseriebodengruppen der jeweiligen Derivate eindeutig von einander zu unterscheiden. Dieser Ansatz bildet die Grundlage für die in **Kapitel 5.3.5** dargestellte Steuerung von Kommunalität, Skalierung und Differenzierung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konstruktionsmethodik für Karosseriebodengruppen in Produktfamilien.

## 2.4.5 Gestaltung von skalierten Karosseriederivaten in Produktfamilien

Im folgenden Abschnitt werden die Mechanismen für eine Skalierung der Derivatbodengruppen einer allgemeinen Beschreibung zugeführt. Basis bilden die in den Fahrzeuganalysen aufgefundenen Skalierungen, die in **Kapitel 2.2.5** als *Skalierungsanteile* definiert wurden. Die Beschreibung erfolgt dabei auf Basis der zuvor definierten hierarchischen Maßebenen (vgl. **Tabelle 2-8**) und in Richtung der Fahrzeuglänge, -breite, -höhe sowie bezüglich der Skalierung in der Trägerdimensionierung.

### Skalierung der Fahrzeuglänge

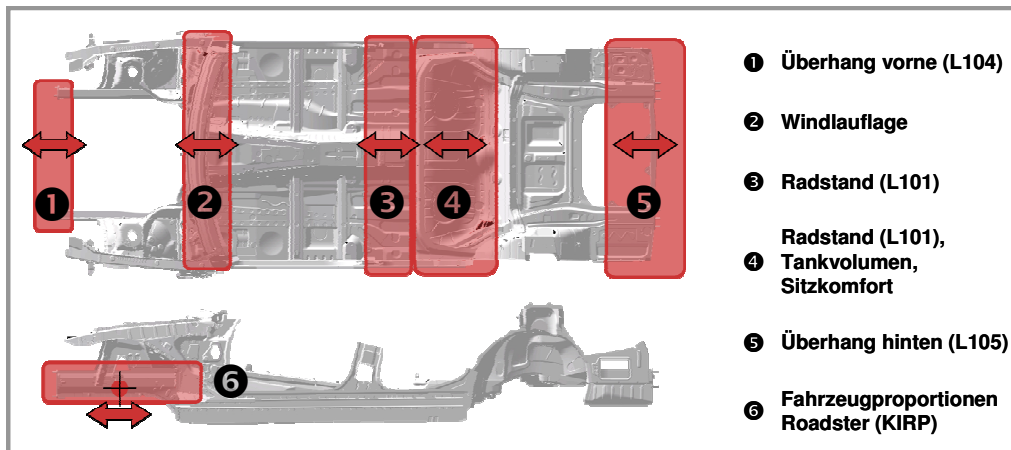


Bild 2-25: Identifizierte Karosseriebereiche für eine Differenzierung der Fahrzeuglänge.

Die Skalierung der vorderen und hinteren *Überhanglängen* (L104 und L105) erfolgt nach zwei verschiedenen Strategien. Bei einer geringen Skalierung der vorderen Überhanglänge L104 werden die Deformationselemente an den Stoßfängern entsprechend der Maßvorgaben und entsprechend der notwendigen Lastniveaus für die Craschauslegung in unterschiedlicher Länge ausgeführt. So kann die Motorträgerstruktur des Vorderwagens unverändert übernommen werden und die Skalierung erfolgt im Sinne einer Late-Configuration über kostengünstige Montagebauteile.

Wird eine größere Skalierung der vorderen und hinteren Überhänge gefordert, so werden die Motorträger und die Hecklängsträger in einer derivatspezifischen Länge ausgeführt. Das Frontend und die Heckverkleidung sowie die Gepäckraumbodenbleche erhalten dann eine derivatspezifische Ausführung [138].

Skalierte Designproportionen des Gesamterscheinungsbildes erfordern in den Derivaten eine differenzierte Bombierung der Frontscheibe, was ein horizontales Verschieben der *Windlaufflage* über der kommunalen Stirnwand bewirkt. Für geringe Anpassungen der x-Position der Scheibenwurzel genügt dabei eine Skalierung des Windlaufoberteils. Größere Verschiebungen der Windlaufflage, es sei hierbei als Extrembeispiel auf den VW Beetle mit seiner sehr weit nach vorne verlagerten Frontscheibe verwiesen, erfordern einen neuen Windlauf, eine entsprechende Verbindung zur kommunalen Stirnwand und gegebenenfalls zusätzliche Verstärkungen im Vorderbau.

Die Skalierung des *Radstands* (L101) erfolgt durch eine Verschiebung der Struktur des Hinterwagens im Fahrzeugkoordinatennetz nach vorne oder nach hinten. Das erfordert eine Differenzierung der Länge des Bodenblechs und der Tunnelstruktur vor dem Fersenblech als auch eine Längenanpassung der seitlichen Schweller. Um in den differenzierten Derivate das Fersenblech als Gleichteil erhalten zu können, wird der zu differenzierende Bereich des Tunnels und der Bodenbleche zur Fahrzeug-x-Achse parallel gehalten. Die Radstandslängenänderung kann zu-



sätzlich durch eine Skalierung der Sitzwannenlänge ergänzt werden. Dies bewirkt zusätzlich eine Variation des Tankvolumens entsprechend der Fahrzeuggröße und eine ergonomische Anpassung der Sitzposition der Fondpassagiere [138].

Zur Darstellung differenzierter Vorderbaulängen im Sinne eines geänderten KIRP für Roadster-derivate ist es erforderlich, die Lage der Vorderachse in Relation zur Stirnwand zu verändern. Solche Differenzierungsvorhaben sind aber aufgrund der funktionalen Auslegung im Frontcrash nur mit einem geringen Anteil an kommunalen Bauteilen umsetzbar.

### Skalierung der Fahrzeugbreite

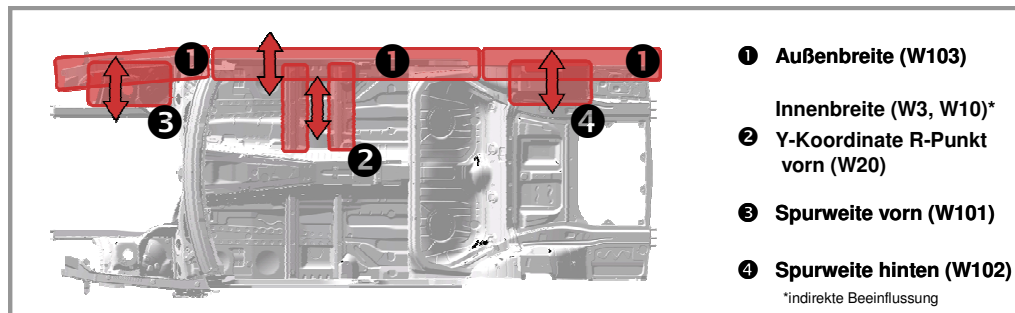


Bild 2-26: Identifizierte Karosseriebereiche für eine Skalierung der Fahrzeugbreite.

Bei der Skalierung der Fahrzeugbreite wird zwischen einer Skalierung der *äußeren Breite* und einer Skalierung der *inneren Breite* unterschieden (siehe **Bild 2-26**).

Treiber für eine deutliche Differenzierung der *äußeren* Karosseriebreite (W103) ist meist eine vertikale Ableitung der Derivate.

So wird für geringe Breitenskalierung eine stärkere oder schwächere Bombierung des Seitenrahmens und der Türen vorgesehen. Soll die Skalierung deutlich für den Kunden zu erkennen sein, wird das Schwellerprofil im Rahmen der funktionalen Möglichkeiten und der Tiefziehprozesse in y-Richtung skaliert. Durch diese Maßnahme wird die Breitenlage des gesamten Seitenrahmens in y-Richtung differenziert [138]. Entsprechend werden auch die Breitenlage der vorderen Seitenwände und der hinteren Radhäuser angepasst. Analog zur Differenzierung der *äußeren* Karosseriebreite wird aus Proportionsgründen auch eine Skalierung der vorderen und hinteren Spurbreite (W101 und W102) vorgenommen. Die Breitendifferenzierung wird entweder karosserieneutral über die Einpresstiefen der Felgen oder für größere Spurbreitenskalierungen durch eine Modifikation der Fahrwerkskomponenten realisiert. In Kombination mit deutlich geänderten Rädergrößen konnten bei den analysierten Ableitungsvorgehen auch eine Skalierung der Breitenlage der vorderen Federbeine und ein Konzeptwechsel am hinteren Fahrwerk festgestellt werden. Dies bewirkt im Vorder- und Hinterwagen jeweils eine Differenzierung der Radhausbaugruppen.

Die *innere Breite* bezieht sich auf das Raumgefühl der Insassen, d.h. auf deren Breitenpositionierung zueinander im Fahrzeuginnenraum. Ausgehend von einer gleichen Breite des Bodenblechs der skalierten Derivate werden der Fahrer und der Beifahrer (W20) bzw. die Fondpassagiere (W25) durch die differenzierte Außenbreite und die anschließende y-Maßkette über Scheibentonne, Türverstärkungen und -verkleidungen sowie den Airbagentfaltungsfreiraum enger zusammengerückt oder weiter voneinander entfernt. Dies erfordert entweder eine Differenzierung der Sitzgestelle oder eine Skalierung der karosseriefesten Sitzquerträger [138] bzw. im Bereich der Fondpassagiere eine Skalierung der Bepolsterung der Sitzbank.

Für eine Differenzierung der minimalen Ladebreite W200 zwischen Limousine und Touring werden bei Daimler und bei BMW in einigen Produktfamilien unterschiedliche Hinterachssysteme

verbaut, die wie beschrieben eine weitgehend neue Konzeption des Hinterbaus erfordern.

### Skalierung der Fahrzeughöhe

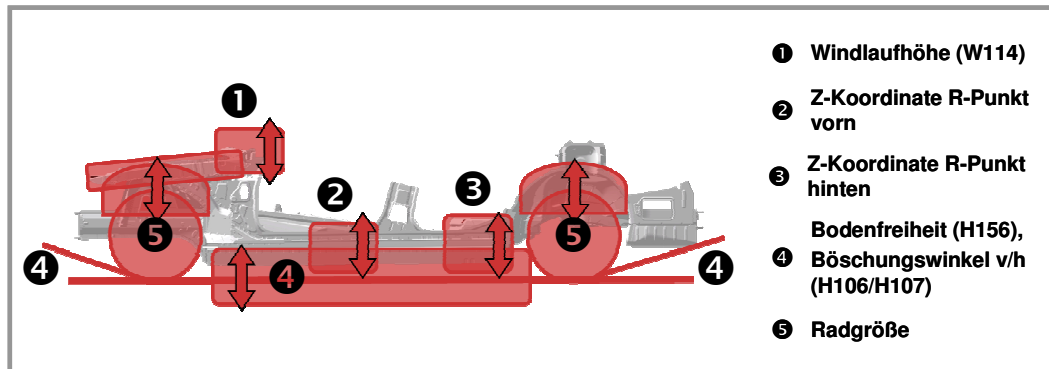


Bild 2-27: Identifizierte Karosseriebereiche für eine Skalierung der Fahrzeughöhe. H120

Gemäß den Ausführungen in **Kapitel 2.3.4** wurden für die Karosseriebauformen Limousine, Roadster und Geländewagen zur Differenzierung der Fahrzeughöhe in der Bodengruppe vier primäre Stellhebel identifiziert. Diese sind die Bodenfreiheit (H156), die Radnennendurchmesser ( $D_{\text{nenn}}$ ), der z-Wert des R-Punkts vorne und hinten (H5/H10) sowie die Höhe des Windlaufs (H120). Im Folgenden wird die Auswirkung dieser Maßparameter auf die Karosseriebauteile der Bodengruppe diskutiert.

Die Skalierung der Höhe des *vorderen R-Punkts* wird über spezifische Sitzgestelle oder bei der Verwendung kommunaler Sitzgestelle über eine Anpassung der Sitzquerträgerhöhe bzw. eine Anpassung von Adapterprofilen auf den Sitzquerträgern erreicht.

Der *R-Punkt der Fondpassagiere* folgt der R-Punkthöhe des Fahrers. Für eine geringfügige Differenzierung der Sitzposition wird die Höhe der Sitzschäume variiert. Extrem niedrige Sitzpositionen erfordern hingegen eine Absenkung der Sitzwanne und des Fersenblechs und verursachen eine Reduzierung der Fahrzeugreichweite aufgrund eines geringeren Tankvolumens. Höhere Sitzpositionen in auf Limousinenbasis abgeleiteten Derivaten werden in vielen Fällen durch zusätzliche Adapter zwischen der kommunalen Karosseriestruktur und den hinteren Sitzen realisiert. Der Kunde erhält dabei oft einen zusätzlichen Nutzen in Form von längsverschiebbaren Fondsitzen. Eine Differenzierung des Sitzwannenblechs für eine höhere Sitzposition ermöglicht zusätzlich ein größeres Tankvolumen. Hierfür müssen zusätzliche Investitionen in ein spezifisches Tanksystem getätigt werden.

Eine differenzierte Sitzposition erfolgt parallel mit einem derivatspezifischen Karosseriedesign sowie einer geänderten Brüstungshöhe im Karosseriegerippe und erfordert in der Bodengruppe eine Anpassung der *Windlaufhöhe* (H120). Diese resultiert für geringe Differenzen aus einem spezifischen Windlaufoberteil. Große Differenzierungen für einen hohen Windlauf werden über ein spezifisches Stirwandoberteil und/oder über die Integration eines zusätzlichen Stirwandquerträgerprofils dargestellt. Eine tiefe Positionierung des Windlaufs für Roadsterderivate führt in der Ableitung des Nissan 350Z sogar zum Austausch der Produktfamilienstirnwand in ein niedriges, konzeptkommunales Stirwandblech mit kommunalen Schnittstellen für die Integration der Stirwandkomponenten.

Eine Skalierung der *Bodenfreiheit* wird im Allgemeinen für geringe Höhenmaßunterschiede über skalierte Fahrwerkskomponenten erzeugt. Eine Änderung der Karosseriestruktur wird dabei vermieden. Die Integration stark differenzierter *Radgrößen* zur Realisierung großer Bodenfreiheiten und Böschungswinkel in der Produktfamilie erfordert eine Skalierung der Karosseriestrukturen in geometrischer und funktionaler Hinsicht (vgl. **6.2.2** „Differenzierungen im Hinter-

bau“). Aus Sicht der Geometrie müssen die geänderten Radhüllgeometrien in den Bauraum der Vorder- und Hinterwagenstruktur integriert werden. Hierbei sind zwei strategische Ansätze zu erkennen. Entweder wird aus Sicht der Kosten der Bauraum der größten Raddurchmesser in einer Einheitskarosserie vorgesehen, was bei den Derivaten mit kleinen Radgrößen zu einem suboptimalen Package führt. Für ein optimales Package und eine optimale funktionale Gestaltung aller Derivate werden hingegen die Karosserieumfänge im Bereich der Radhäuser und Feder-Dämpferaufnahmen differenziert aufgebaut.

### **Skalierung der Tragstrukturdimensionierung**

Skalierungen in der Tragstrukturdimensionierung resultieren aus stark divergierenden funktionalen Anforderungen der Derivate an die gemeinsame. Der Verwandtschaftsgrad zwischen Derivaten mit einer Skalierung in der Tragstruktur reduziert sich dabei auf eine Konzeptkommunalität.

In einer vertikalen Ableitung ergeben sich durch eine direkte Kommunalität im Plattformkern oft auslegungsbedingt Überdimensionierungen in den „kleinen“ Derivaten. Zusätzlich sind die Grenzstückzahlen der Produktionskapazitäten im Presswerk und im Karosseriebau zu beachten. So ist es bei sehr großen Stückzahlen aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll, die vertikal abgeleiteten Fahrzeuge von der direkten Bauteilkommunalität im Plattformkern zu trennen und diese in eine Konzeptkommunalität überzuführen. Ein Wechsel zu einer Konzeptkommunalität reduziert in diesem Zusammenhang die finanzielle Mehrbelastung der kleinen Derivate aufgrund einer Senkung der Materialkosten. Die Konzeptkommunalität der Karosseriestrukturen erlaubt dabei die Planungskosten der Fertigungsmittel durch ein quasi „Klonen“ der Produktionseinrichtungen zu senken. Beispiel hierfür ist die skalierbare Plattform PQ35-PQ46 des Volkswagenkonzerns.

## **2.5 Produktionsprozess Karosserie**

Grundlage einer skalierbaren Plattform bilden typflexible Produktionsprozesse, die helfen die geplanten Kostenpotenziale zu realisieren. An dieser Stelle werden daher die Produktionsprozesse in der Prozesskette einer Karosserie erläutert. Fokus bilden die Blechumformung und der Karosseriebau aufgrund der hohen Kapitalbindung für Investitionen und aufgrund der Einsparpotenziale in den Herstellkosten durch plattformbedingte Synergie- und Skaleneffekte.

### **Prozessübersicht Karosserieproduktion**

Die Produktion von Pkw-Karosserien ist in vier Prozessschritte zu unterteilen:

- Die Blechumformung im Presswerk,
- die Fügeoperationen im Karosseriebau,
- die Oberflächenbehandlung in den Lackprozessen und
- die Komplettierung in der Montage.

Nach der Blechumformung werden die umgeformten Karosseriebauteile aus dem Presswerksverbund des Herstellers auf die einzelnen Fertigungsstandorte verteilt. Standortspezifisch werden im Karosseriebau die Karosseriebauteile zuerst zu Komponenten, dann zu Zusammenbauten und abschließend zu ganzen Karosserien komplettiert. Nach einer Reinigung werden die fertigen Karosserien den Lackierprozessen zugeführt. In der anschließenden Montage wird die Karosserie zuerst mit den Karosserie-Komponenten wie Scheiben, Kabelbaum, Cockpit, Innenausstattung sowie bei offenen Fahrzeugen mit dem Verdeck bestückt. In der Endmontage wird die Karosserie der Hochzeit zugeführt, in der sie mit dem Antriebsstrang und dem Fahr-

werk verbunden wird. Nach der Montage der Sitze, Türen und Klappen sowie einer Reihe abschließender Inspektionen werden die fertigen Fahrzeuge zum Abtransport verladen.

### 2.5.1 Produktionsablauf Blechumformung im Presswerk

Die im Presswerk eingesetzten Umformverfahren werden nach SCHULER [133] in DIN 8582 nach der Hauptbeanspruchung des Materials klassifiziert. In der Praxis überlagern sich bei der Herstellung von Karosserieteilen in diesem Zusammenhang nach NEDELJKOVIC Verfahrenskombinationen mit Tiefzieh- und Streckziehanteilen [97].

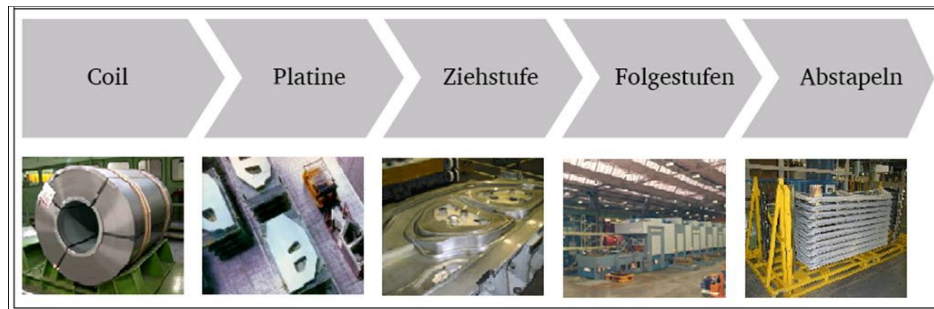


Bild 2-28: Die generischen Stufen im Presswerksfertigungsprozess nach GLOSSNER [39]

Für die weiteren Ausführungen sind in **Bild 2-28** die Prozessschritte der Umformung zusammengefasst. Das für den Bau einer Karosserie erforderliche Feinblech wird von den Walzwerken meist in Coils angeliefert und vor der Weiterverarbeitung auf automatisierten Bandzerteilanlagen zu Platinen geschnitten [133]. Für die Herstellung der Karosserieteile werden die Platinen in vier bis fünf Arbeitsfolgen durch die Pressenwerkzeuge in den Pressenstraßen bearbeitet. Die Platinen durchlaufen dabei die Ziehstufe für das Umformen und Nachformen sowie die Folgestufen für das Beschneiden und Abkanten. Die fertigen Pressteile werden von Werkern in Transportbehältern abgestapelt oder in Schüttgutbehältern verladen und in turnusmäßigen Intervallen einer Qualitätsprüfung unterzogen. (Für weiterführende Informationen zu Umformprozessen, Pressen, Pressenstraßen, Presswerken siehe SCHULER [133] und TSCHÄTSCH [146].)

Einen großen Anteil der logistischen Planung in einem Presswerk beansprucht das Behälterhandling. Die Transportbehälter werden benötigt um die Bauteile für den Rohbau bevorraten, transportieren und schützen zu können. Die logistische Aufgabe des Behälterhandlings besteht darin, den spezifischen Teileabpressungen entsprechend, den Pressenstrassen die Behälter aus dem Behälterlager zuzuführen, die befüllten Behälter fertigungsgerecht an die Rohbau-Anlagen im Werkeverbund anzuliefern, nach der Entleerung wieder in das Behälterlager des Presswerks zurückzuführen und geordnet zu puffern bis die Abpressung wieder von Neuem beginnt (siehe hierzu auch MENNERICH [93]). Mit der Behälterlogistik sind Investitionssummen für die Behälter selbst als auch Herstellkosten für den JIT-Transport und die dahinterstehende Logistik verbunden. *Für die Betrachtungen im Rahmen dieser Arbeit werden aber aufgrund der gewählten Prämissen diese Logistikprozesse ausgeklammert.*

### Flexible Anlagen- und Werkzeugkonzepte

Für die Herstellung der im Rahmen dieser Arbeit geforderten skalierten Karosseriebauteile werden folgende Presswerkssysteme genannt:

- Ein flexibel programmierbarer Teiletransport durch Roboter oder einen 3D-CNC-Transfer, der ermöglicht die Transferbewegungen und die Zykluszeiten innerhalb der jeweiligen Grenzwerte frei zu programmieren TSCHÄTSCH [146].

- Eine zusätzliche Verbesserung der Flexibilität bewirken automatische Werkzeugwechselsysteme, die durch den Einsatz von Kassetten-Werkzeughaltern und verfahrbaren Werkzeugwechselhaltern die Werkzeugwechselzeiten reduzieren [146].
- HOFFMANN nennt im Rahmen der Individualisierung von Produkten das Hydromechanische Umformen von Blechen in der Primäranwendung für Außenhautteile [56] als auch die Modularisierung beim Bau von Umformwerkzeugen [57] für den Stückzahlbereich von Klein- und Kleinstserien.
- Flexible *Werkzeugsysteme*, die die Herstellung von skalierten Bauteilen mit nur einem Werkzeugsatz ermöglichen und dadurch den Kapitaleinsatz für die Werkzeuge reduzieren. Durch eine variable Anordnung der Messer im Beschnittwerkzeug können mittels Schiebern oder durch den Einsatz eines zusätzlichen Beschnittwerkzeugs Bauteile in einer unterschiedlichen Skalierung hergestellt werden. Die Werkzeuge für die Tiefzieh-, Loch- und Abkantoperationen werden universal für alle skalierten Bauteile verwendet. Anwendung findet diese Werkzeugtechnologie bei parallel längsorientierten Bauteilen wie zum Beispiel den Schwellerblechen von Derivaten mit unterschiedlichem Radstand (vgl. **Kapitel 2.4.3**: Definition Synergiebauteile).

### 2.5.2 Produktionsablauf im Karosseriebau

Das hauptsächlich angewandte Fügeverfahren im Karosseriebau ist das Punktschweißen, das nach DIN 1910 zu den Verfahren des Pressschweißens gehört. Kennzeichnend für diesen Fügeprozess ist nach FAHRENWALDT, dass die zum Schweißen erforderliche Wärme durch eine Widerstandserwärmung erzeugt wird und die so erwärmten Teile unter Druck miteinander verschweißt werden [32]. Für schwerzugängliche Stellen der Karosserie werden automatische oder manuelle Schutzgasschweiß- bzw. Laserschweiß- und Lötoperationen eingesetzt. Zusätzlich werden die geschweißten Flansche aus Festigkeits- und Dichtigkeitsgründen durch Klebenähte unterstützt.

Der Karosseriebau besteht je nach Werksgröße aus einer oder mehreren Produktionslinien. Früher waren diese Linien nach NAITOH als Solitäre für die Produktion jeweils nur eines Produkts / Fahrzeugs maßgeschneidert [96]. Heute ist der Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad in keiner Fertigung so weit entwickelt wie im Karosseriebau [32] und so zeichnen sich die Produktionslinien durch eine sehr hohe Flexibilität aus, die der Produktion von Produktfamilienderivaten auf Basis einer skalierbaren Plattform genügen.

Die Teilezufuhr zu den jeweiligen Fügestationen erfolgt manuell in den Einlegestationen durch Werker. Die Füge- und Handlingsoperationen erfolgen in den Produktionslinien durch Industrieroboter in sogenannten Robotergärten. Je nach Stückzahl, Größe und Anzahl der zu fügenden Bauteile in einer Fügestation werden die Bauteile mit Hilfe der Roboter in einem Arbeitsgang zu einem Zusammenbau komplettiert oder in einer Geometriestation durch Schweißpunkte fixiert und anschließend in einer Ausschweißstation fest verbunden. Die fertig gefügten Bauteilgruppen werden hierbei ihrer Größe nach als *Komponenten* für die kleinsten Gruppen und anschließend als *Zusammenbauten* (ZB) bezeichnet.

Die Fertigungsstruktur des Karosseriebaus lässt sich nach WEMHÖRNER [154] in die drei Ebenen Bodengruppe, Karosseriegerippe sowie Anbauteile und Finish gliedern (siehe **Bild 2-29**). In der ersten Ebene des Karosseriebaus wird der Zusammenbau der *Bodengruppe* aus den ZBs Vorderbau mit Stirnwand, Unterboden und Hinterbau hergestellt. Diese Rohbaumodule (vgl. **2.3.3**) sind hierbei aus weiteren Unter-ZBs und Komponenten zusammengestellt. Deren Produktion kann dabei nach AHLERS [3] in sogenannten Mobi-Cells erfolgt. Diese „mobilen Roboter-Fertigungszellen“ ermöglichen durch ihren Aufbau mit einem standardisierten Grundrahmen auf dem alle Komponenten montiert sind, eine flexible Platzierbarkeit im Layout des Karosseriebaus für ein Atmen der Strukturen bei schwankenden Stückzahlen und sich wandelnden Anforderun-

## 2. Differenzierte Karosserien in Produktfamilien

gen. In der zweiten Ebene des Karosseriebaus wird die Bodengruppe mit dem Seitenrahmen und den Dachkomponenten zu einem fertigen Karosserierohbau komplettiert. In der letzten Karosseriebaustufe wird die Karosserie mit den Anbauteilen bestückt und im Finish erfolgen eine Qualitätsprüfung und notwendige Lackvorbereitungsarbeiten.

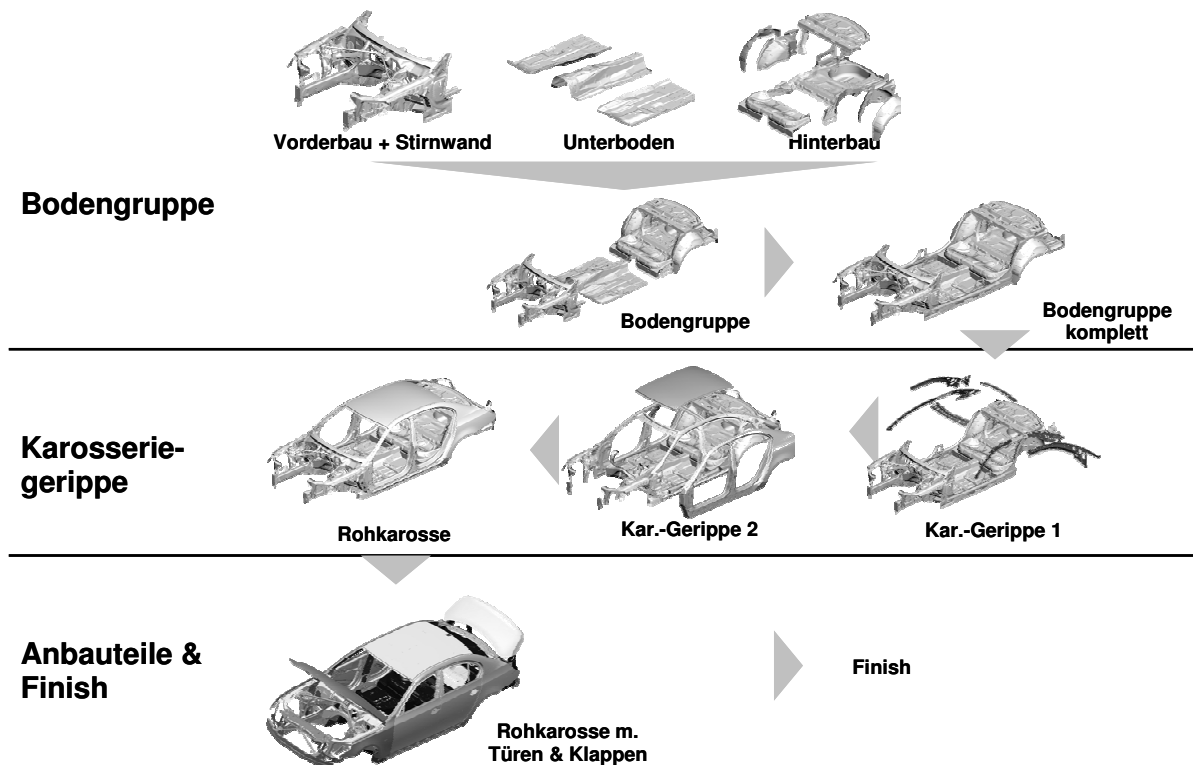


Bild 2-29: Struktur des Karosseriebaus in Anlehnung an HÄNLE [45]

Die Karosseriestruktur eines aktuellen Mittelklassefahrzeugs mit Türen und Klappen besteht in diesem Zusammenhang aus ca. 650 Einzelteilen mit einem Gewicht von 360 kg die durch 5400 Schweißpunkte, 3900 mm SG- sowie Lötnaht und 30.000 mm Bördel- und Strukturkleber gefügt werden [3].

### Flexibilität im Karosseriebau

Die gemeinsame Fertigung von differenzierten Produktfamilien-Derivaten auf typflexiblen Karosseriebaueinrichtungen ist für die Produktionsumfänge im *Karosseriegerippe* Stand der Technik. Als industrielle Beispiele für eine typflexible Fertigung des Karosseriegerippes kann in diesem Zusammenhang bei Volkswagen nach CORDES die gemeinsame Fertigung des Golf (A5) und des Passat (B6) im Werk Mosel [20] oder nach KEMPINGER bei BMW die gemeinsame Fertigung der 3er Limousine und des 3er Touring im Werk München oder die gemeinsame Fertigung des BMW 6er und des 7er im Werk Dingolfing [66] bis Mitte 2008 oder die gemeinsame Fertigung des Opel Zafira, Astra und Agila im Werk Gilwice in Polen [114] nach PLAPPER genannt werden.

Die Herstellung der typspezifischen Komponenten und Zusammenbauten für die einzelnen Baustufen des Seitenrahmens und des Dachs erfolgt jeweils auf eigenen spezifischen Anlagen. Die Komplettierung wird anschließend durch eine typflexible Framinganlage durchgeführt. Dementsprechend werden in die Framinganlage die jeweiligen Baustufen des Seitenrahmens eingefahren, um die derivatspezifischen Dachkomponenten ergänzt und zu einer gesamten Rohkarosserie durch flexibel programmierbare Roboter verschweißt (vgl. **Bild 2-29**). Diese Anlagen werden aufgrund der Mehrfachverwendung durch unterschiedliche Fahrzeugtypen Hauptlinie genannt und können durch ihre flexible Einsetzbarkeit Stückzahlchwankungen in der Regel kostenneutral ausgleichen.

Die vorgelagerten Anlagen für die Produktion der jeweiligen Bodengruppen sind modellreihenspezifisch nach einem Einliniensystem aufgebaut. Dabei werden die standardisierten Bodengruppen in einer konventionellen Rohbaufertigung nach einem festen Produktionsschema abgearbeitet.

*Im Rahmen dieser Arbeit soll nun für die Produktion einer Produktfamilie auf Basis einer skalierbaren Plattform die Logik einer typflexiblen Karosseriegerippe-Fertigung auf die Fertigung von Bodengruppen übertragen werden.*

So soll es in der Hauptlinie der Bodengruppe möglich sein, unterschiedlich skalierte Komponenten und Unter-Zusammenbauten für das Fügen von Vorderbau mit Stirnwand, Unterboden und Hinterbau miteinander zu kombinieren, um die in **2.4.3** beschriebenen Skalierungen zu erzielen. Voraussetzung für diese typflexiblen Bodengruppen-Anlagen bilden typflexible Einlege- sowie Geometriestationen, eine flexible Aufnahmetechnik sowie eine flexible Anlagensteuerung. Für eine bestimmte maximale Anzahl von differenzierten Bodengruppentypen soll es so möglich sein, die Typen weitgehend rüstzeitfrei in einer willkürlichen Sequenz zu produzieren.

## 3 Parametrisch assoziative Karosseriekonstruktion

Wie in der Einleitung erwähnt, stehen nach DRÄGER die Entwickler heute vor der Herausforderung kontinuierlich effizienter zu werden, um auch bei geringen Stückzahlen je Derivat nach Umlage der Entwicklungskosten die geforderten Renditeziele zu erreichen [21]. So müssen nach HASLAUER [48] in Zukunft mit der gleichen Personalkapazität mehr Fahrzeuge entwickelt werden und die kommunalen Teile auf die unterschiedlichen Derivate in der Produktfamilie verteilt werden, was den Einsatz neuer CAx- und Produktdatenmanagement-Systeme erfordert. Parametrisch assoziative Konstruktionsprogramme bieten den Konstrukteuren in diesem Zusammenhang die Möglichkeit ihre Effizienz deutlich zu steigern.

Ausgehend von der rein händischen Konstruktionsweise am Zeichenbrett mit Stift und Linealen über erste rechnergestützte CAD-Systeme bis hin zu den heute angewandten hochleistungsfähigen parametrisch assoziativen CAD-Programmen hat sich das Arbeitsumfeld und die Arbeitsmethodik eines Konstrukteurs nach GRABNER/NOTHHAFT grundlegend geändert [41]. Das Werkzeug der regelbasierten parametrisch assoziativen Konstruktion erfordert hierbei nach TECKLEBURG [144] ein Konstruktorsprofil, das Konstruktionsmethodik und wissensbasierte Entwicklungsorganisation miteinander vereint.

Derzeit befinden sich aber die parametrisch assoziativen Konstruktionssysteme gemäß KIRCHGÄSSNER [67] bei vielen Automobilherstellern immer noch in der Phase der Einführung sowie der frühen Umsetzung und führen nach HASLAUER zu einer Neustrukturierung des Entwicklungsprozesses [48]. Die konventionelle Karosserieentwicklung ist geprägt von einer sequentiellen Abarbeitung der Arbeitsumfänge. Simultaneous Engineering findet nur in Form einer frühzeitigen verbalen Abstimmung der Belange aller beteiligten Gruppen statt [144]. Parametrisch assoziative Konstruktionssysteme sollen dabei die Kommunikation der Prozessbeteiligten nicht ersetzen, sondern die Entwickler von Routinearbeit entlasten und mit hinterlegtem Wissen unterstützen, da nach TECKLEBURG [144] in der Entwicklung bzw. Konstruktion der Geometrierstellungs- und Änderungsaufwand die größten Arbeitstreiber sind.

Die im Rahmen des Forschungsprojekts Strukturvariabilität geschaffene Konstruktionsmethodik zur Ableitung von Pkw-Karosseriederivaten in Produktfamilien in frühen Entwicklungsphasen wurde im Sinne der Konstruktionswissenschaften nach PAHL/ BEITZ [109] entwickelt und knüpft an den zuvor genannten Forderungen an. Ziel dieser Konstruktionsmethodik ist es, eine Karosseriebodengruppe gesamthaft parametrisch assoziativ erstellen zu können. Durch die logische Verknüpfung von Konstruktionselementen soll die Ableitung von Derivaten einer skalierbaren Plattform (wie in **Kapitel 2** beschrieben) über eine Steuerung mit Parametern erfolgen und den konstruktiven Geometrierstellungs- und Änderungsaufwand reduzieren.

Für ein Verständnis der in dieser Konstruktionsmethode hinterlegten Mechanismen werden in diesem Abschnitt die notwendigen Grundlagen zu parametrisch assoziativer Konstruktion, die wissenschaftlichen Ansätze, der Konstruktionsprozess für Kfz-Karosserien und parametrisch assoziative Konstruktionsansätze in der Automobilindustrie vorgestellt. Die Entwicklung einer spezifisch auf die Anforderungen einer skalierbaren Plattform zugeschnittenen Konstruktionsmethodik erfolgt anschließend in **Kapitel 5**.



### 3.1 Grundlagen zu parametrisch assoziativer Konstruktion

#### Definitionen

PAHL UND BEITZ [109] unterscheiden zwischen der Konstruktionswissenschaft und der Konstruktionsmethodik:

##### *Konstruktionswissenschaft*

Mit Hilfe wissenschaftlicher Methoden wird angestrebt, den Aufbau technischer Systeme und deren Beziehungen zu ihrem Umfeld so zu analysieren, dass aus den erkannten Zusammenhängen und Systemkomponenten Regeln zu deren Entwicklung abgeleitet werden können [109].

##### *Konstruktionsmethodik*

Beschreibung eines geplanten Vorgehens mit konkreten Handlungsanweisungen zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme, die sich aus den Erkenntnissen der Konstruktionswissenschaften, der Denkpsychologie und aus den Erfahrungen in unterschiedlichen Anwendungen ergeben haben [109].

Die im Rahmen des Forschungsprojekts Strukturvariabilität entwickelte Konstruktionsmethodik gibt dabei den Konstrukteuren einen auf die Problemstellung der Derivateableitung zugeschnittenen Modellaufbau an die Hand und unterstützt durch hinterlegtes Wissen bei der Darstellung von Kommunalität und Differenzierung in den Derivaten einer Produktfamilie.

##### *Parametrisch assoziative Konstruktion*

In der parametrisch assoziativen Konstruktion (PaKo) werden in Anlehnung an BRILL [17] zu jedem neu erzeugten Geometrieelement *Erzeugungsattribute* gespeichert. Dies sind die Vorgabegeometrieelemente, die angewandte mathematische Erzeugungsfunktion und die dabei angewandten Parameter. Besteht nun eine Konstruktion aus mehreren verknüpften und aufeinander aufbauenden Geometrieelementen, so entsteht eine hierarchische Struktur aus Geometrieelementen mit Eltern-Kind-Beziehungen. Über diese assoziativen Eltern-Kind-Beziehungen kann die Entstehungshistorie jedes Elements bis zum Ursprung zurückverfolgt werden. In umgekehrter Richtung können durch die gespeicherten Erzeugungsattribute bei einer Neuberechnung geometrische Änderungen an den Eltern-Elementen assoziativ auf die Kind-Elemente übertragen werden. Diese vernetzte Struktur beschreibt dabei die Konstruktion des Bauteils mit allen verwendeten Befehlen und Abhängigkeiten vollständig. Nachträglich lassen sich in diesem vernetzten Strukturbaum Parameter ändern und Geometrieelemente austauschen und dadurch einzelne Bereiche der Konstruktion verändern.

*Assoziative Konstruktion* bezeichnet die nachträgliche Änderung der Vorgabegeometrie.

*Parametrische Konstruktion* bezeichnet die nachträgliche Änderung eines Parameterwertes.

Die Ableitung von Derivaten in der Strukturvariabilität erfolgt über die Veränderung von Parameterwerten. Als Parameterwerte werden hierbei die zuvor identifizierten Differenzierungsmaße auf Ebene der Produktfamilie herangezogen (vgl. **2.4.4, Tabelle 2-8**). Die durch Parameter geänderten Geometrien pflanzen sich assoziativ in der nachfolgenden Konstruktion der Bodengruppe fort und bewirken z.B. eine Änderung der Radhaus- und Trägeregeometrien bei einer Änderung des Parameters: Raddurchmesser.

##### *Template*

Zweck der Erzeugung von Templates ist es nach BRAB den Aufwand zur Erstellung sich häufig wiederholender Geometrien zu vermeiden [14]. Diese enthalten bei Bedarf *Knowledgeware*-Objekte. Die im Rahmen der Strukturvariabilität entwickelte parametrisch assoziative Karosseriebodengruppe kann somit als Template für die Erstellung von Derivaten in einer Produktfam-

lie verstanden werden.

#### *Knowledgeware*

ist eine Sammlung von Komponenten, die dazu bestimmt sind, wissensbasierte Informationen zu erzeugen und weiterzuverarbeiten. Wissensbasierte Informationen bestehen dabei aus gespeicherten Regeln und Beziehungen [14], die Geometrieelemente mit einander logisch verknüpfen. Knowledgeware wird in der Strukturvariabilität dazu verwendet kommunale Bereiche in der Karosserie fest zu legen und andere Bodengruppenbereiche für eine Differenzierung freizugeben.

#### *Links*

erstellen nach BRAB eine CAD-technische modellübergreifende Abhängigkeiten in der parametrisch assoziativen Konstruktion. In der täglichen Anwendung werden Links als eine assoziative Kopie von Geometrien oder Parametern verwendet, um eine assoziative Verknüpfung zwischen eigenständigen Konstruktionen zu ermöglichen. Die Link-Technik ist ein essentieller Bestandteil der Konstruktionsmethode für Strukturvariabilität und wird daher an geeigneter Stelle detailliert erläutert (siehe **Kapitel 5.3.3**).

### **Parametrisch assoziative CAD-Systeme**

Die geometrische Beschreibung von Bauteilen in Form einer Oberfläche oder eines Volumenkörpers und die Dokumentation nichtgeometrischer Informationen für die Fertigung sind nach BRILL die Aufgabe eines CAD-Systems [17]. Je nach Verwendungszweck kommen bei den Herstellern verschiedene Systeme parallel zum Einsatz. Die wichtigsten Systeme sollen an dieser Stelle genannt werden:

- Alias Studio Tool - Alias System Corp.  
3-dimensionales CAS-System zur parametrisch assoziativen Flächenmodellierung im Interieur-Design (CAS: = Computer Aided Styling).
- Catia V5 - Dassault Systèmes.  
2- und 3-dimensionales CAD-Proramm für PaKo in Flächen- und Volumenmodellierung.
- CAVA – Programm-Applikation für Catia V5.  
Darstellung gesetzlicher Vorschriften in der Pkw-Entwicklung (Bodenfreiheiten, Positionierung der Insassen, Sichtgesetze, Stoßfängerpositionierung uvm.)
- ICEM Shape Design.  
3-dimensionales CAS-System zur parametrisch assoziativen Flächenmodellierung im Exterieurdesign.
- I-DEAS - USG Corp.  
3-dimensionales CAD-Proramm für PaKo in Fläche- und Volumenmodellierung.
- IMA – Programm-Applikation für Catia V5.  
3-dimensionales CAS-System zur parametrisch assoziativen Flächenmodellierung im Exterieurdesign.
- ProEngineer.  
2- und 3-dimensionales CAD-Proramm für PaKo in Flächen- und Volumenmodellierung
- SFE CONCEPT.  
3-dimensionales CAE-Proramm für PaKo in Flächen- und Volumenmodellierung, optimiert auf die Vernetzung der erstellten Geometrien für FEM-Analysen.

Aufgrund des weiten Bekanntheitsgrades und der flächendeckenden Anwendung in der Automobilindustrie wurde im Rahmen des Forschungsprojekts die entwickelte Konstruktionsmethode für Strukturvariabilität in Catia V5 umgesetzt. Die Konstruktionsmethodik ist aber weitgehend softwareunabhängig unter dem Aspekt der allgemeinen Anwendbarkeit entwickelt. Derzeit wird

die entwickelte Methodik in einem aktuellen Fahrzeugprojekt parallel in Catia V5 und SFE CONCEPT umgesetzt.

### 3.2 Wissenschaftliche Ansätze

Für die Entscheidung eine parametrisch assoziative Konstruktion als Entwicklungsumgebung für die Ableitung von Derivaten zu verwenden, wurden wissenschaftliche Ansätze analysiert, die sich mit parametrischen und assoziativen Ansätzen sowie mit der Ableitung von Derivaten beschäftigen. Analysiert wurden die Ansätze von MELCHER [91], NIEMIERSKI [99], RUDOLF [126], [127], [128] und FORSEN [33].

MELCHER analysiert verschiedene Flugzeug-Vorentwurfssysteme unter anderem bezüglich ihrer Eignung das neu zu entwerfende Produkt bzw. dessen Derivate dreidimensional parametrisch darstellen und bearbeiten zu können. Das System Catia V5 stellt sich in seiner Arbeit als Basis für seine darauf aufbauende Anwendung *Pad3D* als am besten geeignet heraus. Auswahlkriterien hierbei sind die umfangreiche Toolsammlung und die im Bereich der Freiformflächen „ausgezeichneten“ Funktionalitäten von Catia V5 [91].

NIEMIERSKI [99] beschäftigte sich bereits vor 30 Jahren mit der Erstellung einer parametergesteuerten Karosseriegenerierung für Personenkraftwagen. Nach einer Analyse von Regeln für die Generierung von Pkw-Karosserien identifiziert und definiert er die Funktionskomponenten eines Pkw für den Generierungsprozess. Er verwendet dabei Bänder als Basisflächen für die spätere Erstellung von Freiformflächen und beschäftigt sich aufgrund der damals noch nicht weit entwickelten CAD-Landschaft mit Techniken zur Freiformflächengenerierung.

RUDOLF erarbeitet aufbauend auf einer Methodik zur systematischen Bewertung von Konstruktionen [126] und aufbauend auf seinen Forschungsergebnissen zum Thema Übertragung von Ähnlichkeitsbegriffen [127], die Entwurfssprache *EWS-Car* für den Fahrzeugentwurf [128]. Diese graphenbasierte Entwurfssprache mit hinterlegtem Wissen erlaubt eine formalisierte, maschinelle Abarbeitung des Fahrzeugentwurfsprozesses und soll die Entwickler durch eine automatische Modellgenerierung und eine umfassende Berechnungsautomation von Routinearbeiten entlasten. Die Topologieänderung der Fahrzeuge erfolgt auf Basis der Manipulation von Parametrik. Durch formulierte Entwurfsregeln für die Basistopologie von Personenkraftwagen werden über einen Entwurfsgraphen die Topologien der Karosseriestruktur in einem Linienmodell abgebildet, vgl. **Bild 3-1**. Das in der Entwurfssprache hinterlegte Wissen übersetzt den Entwurfsgraphen in eine einfache Rahmenkonstruktion in Catia V5. Mit der Veränderung von Axiomen in der Entwurfssprache können verschiedene Karosserietypen wie Limousine, Kombi, Cabrio usw. erzeugt werden.

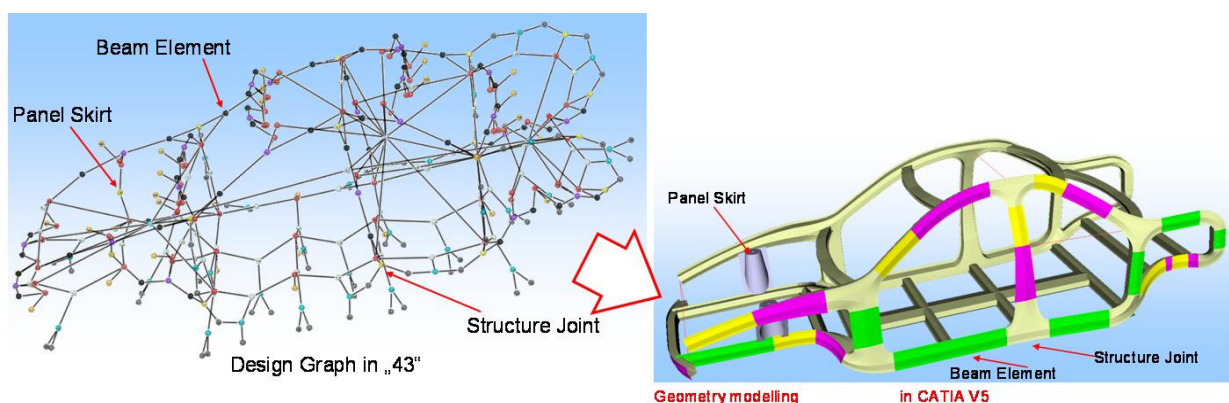


Bild 3-1: Mit der Entwurfssprache *EWS-Car* entwickelter Entwurfsgraph und abstrahierte Karosserie nach RUDOLF [128].

In der reellen Anwendung zeigt diese Entwurfssprache Schwächen. Der Fahrzeugentwurf läuft nach den festen Regeln der Entwurfssprache ab und kann nur gesamthaft durchlaufen werden. Der Vorgang kann nicht unterbrochen und mit veränderten Parametern fortgesetzt werden. Ingenieurwissen kann somit nur zu Beginn der Entwicklung in den Code implementiert werden. Eine Abänderung des Codes kann aber nur durch den Ersteller selbst oder durch Spezialisten erfolgen. Die Ideenfindung im Entwicklungsprozess selbst wird durch dessen vollständige Automatisierung unterbunden. Als weiterhin nachteilig stellt sich heraus, dass diese Methodik in der aktuellen Implementierungsstufe als Ergebnis eine Karosserietragstruktur mit geschlossenen Profilen liefert. Bauteilflächen oder eine Bauteiltrennung der Tragstruktur sind nicht vorgesehen, vgl. **Bild 3-1**. Von einer Weiterverfolgung dieser Methodik wurde in der Automobilindustrie abgesehen.

FORSEN beschäftigt sich in einer Grundsatzuntersuchung mit einem Ansatz zur parametrisch assoziativen Konstruktion von Karosseriebauteilen [33]. Ausgehend vom virtuellen Fahrzeug leitet er Basisanforderungen für systemtechnische Ansätze zur parametrisch assoziativen Konstruktion ab. In der *PRE-CAD Phase* des Vorgehens wird ein tiefes Verständnis für die Produktzusammenhänge geschaffen und mit einer strukturierten Aufarbeitung in CAD-Modelle übertragen. Im Gegensatz zum herkömmlichen Concurrent Engineering findet laut FORSEN die Konstruktion nicht ausschließlich im geometrischen Kontext, sondern maßgeblich in einem logischen Kontext statt. Er fordert in diesem Zusammenhang an den wichtigen, bauteilbestimmenden Konstruktionsschnittstellen schon zu Beginn der Geometrieerstellung Assoziationen zur Konstruktionsumgebung.

In der Arbeit stellt er grundlegende Untersuchungen zur assoziativen Konstruktion von gesamten Baugruppen an. In diesem Kontext beschäftigt er sich unter anderem mit der Kanalisierung der Komplexität, die sich durch die Vernetzung von Konstruktionselementen in Baugruppen und deren Umgebung ergibt („relationsorientierte Konnektivität“). Dabei schafft er vier unterschiedliche Dekomponierungsklassen, die von einer gesamten Baugruppe (z.B. einem Türrohbau) über die einzelnen Bauteile bis hin zu den einzelnen Konstruktionselementen reichen. Zur zentralen Steuerung der Kommunikation von Bauteilen und Baugruppen mit ihrer Konstruktionsumwelt entwickelt er ein sog. *Mating-Konzept*. In diesem Mating-Konzept werden systemtechnische Ansätze einer assoziativen Konstruktion für die assoziativen Relationen der konstruktionsbestimmenden CAD-Elemente aus der Konstruktionsumwelt beschrieben.

### 3.3 Konstruktionsprozess Karosserie

Die Basiskonstruktion der abgeleiteten Derivate in der frühen Phase des automobilen Entwicklungsprozesses bildet den Ausgangspunkt für alle weiteren Konstruktionsprozesse in der Entwicklung. Sie hat entscheidende Auswirkung auf die Konzeptgestaltung und die folgenden Detaillierungen bis hin zur Serienkonstruktion der einzelnen Bauteile sowie auf die Konstruktion der zur Herstellung erforderlichen Produktionseinrichtungen. Aus diesem Grund sollen an dieser Stelle vor allem der Konstruktionsprozess von Karosserien in frühen Phasen und die notwendigen Prozesstools aufgezeigt werden.

#### Datenmanagement und Digital Mock Up

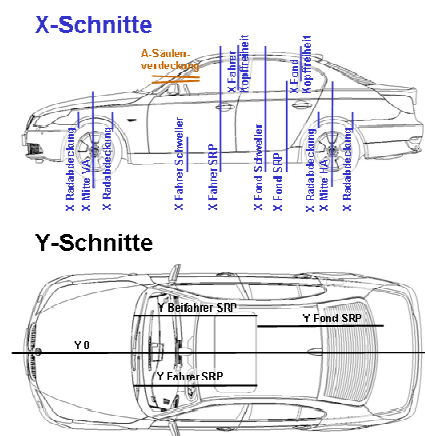
Die Datenhaltung der konstruierten Sachnummern erfolgt herstellerabhängig entweder Filebasiert auf Netzwerkservern oder in sogenannten VPM-Systemen (Virtual Product Management-Systemen z.B. PRISMA bei BMW oder SMARAGT bei Daimler). Diese VPM-Systeme sind auf die Fahrzeughersteller zugeschnittene Datenbanksysteme und unterstützen bei der Schreib- sowie Leserecht-Vergabe von CAD-Dokumenten im Kontext von Fahrzeugprojekten und ermöglichen eine schlanke Organisation des DMU (Digital Mock Up). Als DMU wird in diesem Kontext nach HEIBING [50] das virtuelle Fahrzeug bezeichnet, das in der Entwicklung für al-

le Projektbeteiligten zugänglich gemacht wird, den aktuell abgestimmten Konstruktionsstand widerspiegelt und jeweils zu den Synchronpunkten im Entwicklungsprozess aktualisiert wird. Das DMU ist daher ein instanzielles Kontrollinstrument für den Fortschritt der Fahrzeugentwicklung.

### Gesamtfahrzeugplan und Karosserieplan als Abstimmungsbasis

Wichtigstes Kommunikationsinstrument in frühen Entwicklungsphasen sind im DMU die *Fahrzeugpläne*. Fahrzeugpläne bestehen aus 2-dimensionalen Schnitten durch die Fahrzeugstruktur. Die Lage der Schnittebenen ist für definierte Schlüsselstellen im Fahrzeug festgelegt und ermöglicht somit den Vergleich unterschiedlicher Fahrzeugkonzepte. Früher erfolgte die Dokumentation der Schnitte in sog. Schnittmappen. Heute werden die Schnittpläne assoziativ zur 3D-Geometrie im DMU gespeichert. Je nach Abstimmungsebene und Detaillierungsgrad erfolgt eine Darstellung der Schnittgeometrien im Gesamtfahrzeugplan (GFP) und in hierarchischen Detailplänen der jeweiligen Fachbereiche. In der Karosserieentwicklung wird hierbei vom Karosserieplan über die Modulpläne bis zu den Entwicklungsschnitten der Bauteile detailliert. In **Bild 3-2** sind exemplarisch die Lage der Schnittebenen des GFP und ein Karosserieschnitt bei  $y = 0\text{mm}$  abgebildet.

#### Schnittebenen des Gesamtfahrzeugplan



#### Schnitt bei Y = 0mm

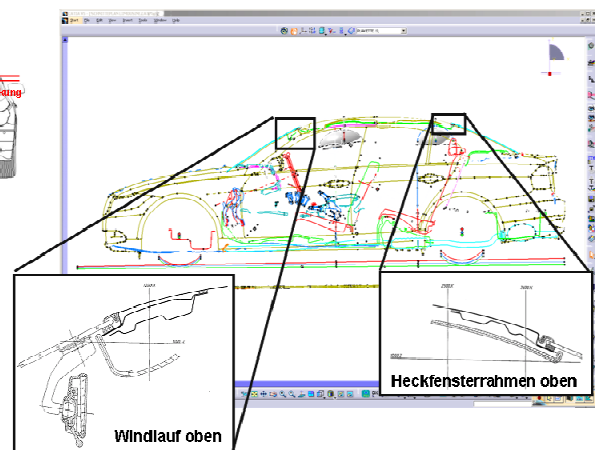


Bild 3-2: Ebenen des GFP und Beispiel eines  $y_0$ -Schnitts mit Detailschnitten (BMW Group, [52], [41]).

Richard HASLAUER beschreibt in diesem Zusammenhang [47] einen Konstruktionsprozess für Karosserien anhand eines optimierten Schnitteprouesses. Von der frühen Konzeptphase bis zur Serienentwicklung folgt die Karosserieentwicklung der These: „vom Entwicklungsschnitt zum Bauteil“. Dabei werden die Bauteile und Baugruppen bezüglich ihrer Dimensionierung in Entwicklungsschnitten und ihrer Lage im Fahrzeugplan aufeinander abgestimmt und dann erst in einer 3D-Konstruktion ausdetailliert. In späteren Entwicklungsphasen mit einem höheren Detaillierungsgrad der dreidimensionalen Bauteilkonstruktion bis zum Ende der Serienentwicklung dienen die Fahrzeugpläne als Abstimmungsbasis für Package- und Bauraumuntersuchungen im Gesamtfahrzeug. Sie sind ein elementares Kontrollmedium im Designprozess und für die Steuerung der Ergonomiemaße des Fahrers und der Passagiere sowie zur Einhaltung gesetzlicher Maßvorschriften zuständig.

### Adapter-Technik und verlinktes Arbeiten

Um die Arbeit in der Konzeptentwicklung zu erleichtern, beschreibt HASLAUER die Adapter-Technik mit der Verwendung verlinkter Daten [47]. Bei dem dabei verwendeten Adaptermodell handelt es sich um ein zwischen den Konstruktionspartnern vereinbartes und abgestimmtes Schnittstellenmodell. Dieses Adaptermodell dient den Konstrukteuren als bindende Konstruktivi-

onsvorgabe. Adaptermodelle sind daher nicht Bauteile im eigentlichen Sinne, sondern eine Sammlung konstruktionsrelevanter Geometrien. Durch die Verwendung von Links können Änderungen im Adapter automatisch an die nachfolgenden Konstruktionen weitergegeben werden und helfen den Aufwand für Änderungskonstruktionen zu reduzieren. Als Beispiel für dieses Vorgehen können aus einem Adaptermodell verlinkte Designflächen aufgeführt werden. Abgestimmte Änderungen im Design können so mit reduziertem Aufwand auf die designrelevanten Bauteile übertragen werden.

#### **Prozessintegration parametrisch assoziativer Konstruktion**

Egbert BRAß beschäftigt sich eingehend mit Aspekten der parametrisch assoziativen Flächenmodellierung für Pkw-Karosserien sowie mit der Verwendung von Knowledgeware und der Verlinkung von Bauteilen im Kontext von Baugruppen [14].

Der Übergang von der herkömmlichen expliziten Arbeitsweise mit Catia V4 zu einer parametrisch assoziativen Arbeitsweise ist ein Paradigmenwechsel, nach BRAß vergleichbar mit dem Übergang von der 2D-Konstruktion zum 3D-Design. Parametrisch assoziative Konstruktionsmethoden sind in vielen Teilbereichen der Prozesskette bereits im Einsatz aber ein durchgehend assoziativer Konstruktionsprozess vom Bauteil bis zum Werkzeug und eine Vernetzung aller Teile ist noch nicht vorhanden [15]. Hierbei wird zwischen *Explicid Design*, *Advanced Part Design*, *Relational Design* und *Process Chain Integration* [14] unterschieden.

*Explicid Design* beschreibt konventionelle Konstruktionsmethoden wie in Catia V4 ohne Parametrik und Assoziativität in oder zwischen den Bauteilen [14]. Diese Stufe ist in der Automobilindustrie bereits weitgehend überschritten.

*Advanced Design* kennzeichnet eine parametrisch assoziative Konstruktion auf Einzelteilebene wobei mehrere Bauteile zu einem Produkt (einem CATProduct<sup>8</sup>) verbunden werden können. Zur Erstellung der einzelnen Bauteile kann Knowledgeware verwendet werden [14]. Diese Konstruktionsweise ist Stand der Technik und wird herstellerübergreifend angewandt.

*Relational Design* erlaubt eine bauteilübergreifende Assoziativität. In der Produktstruktur werden bauteilübergreifende Links verwendet. Für die Verwaltung der Links ist ein VPM-System zwingend erforderlich [14]. Dieses Vorgehen wird in der Industrie bereits teilweise eingesetzt. In der Verlinkung wird nur eine geringe Assoziativität zwischen den verlinkten Elementen eingesetzt [15]. Vollkommen parametrisch assoziativ verlinkte Fahrzeug- oder Karosseriemodelle sind derzeit noch nicht zu finden.

*Process Chain Integration* bedeutet eine assoziative Verkettung aller Elemente in der Prozesskette mit einer Integration der Fertigung und der Produktionsplanung. Ein solches Vorgehen ist in der industriellen Anwendung noch als Vision zu erachten [14], bildet aber den Fokus von Forschungsvorhaben an deutschen Hochschulen (vgl. ABULAWI [1] und MANTWILL [87])

---

<sup>8</sup> CATProduct:= Ein Produkt besteht aus Komponenten, die zusammen ein Bauteil oder eine Baugruppe bilden. Eine Komponente kann dabei aus einem Bauteil (ein CATPart) oder einer Produktinstanz (einem weiteren CATProduct) bestehen. (In Anlehnung an [14])

### 3.4 Parametrisch assoziative Ansätze in der industriellen Karosserieentwicklung

Als zielführende Lösung für den Aufbau der Methodik für Strukturvariabilität wird ein Modellaufbau in Relational Design erachtet. Ein Modellaufbau in Relational Design bietet das Potenzial für eine schnelle Differenzierung und Skalierung der Bauteilgeometrien und der Proportionen unter der Voraussetzung keine oder kaum händische Änderungskonstruktionen vornehmen zu müssen. Werden Veränderungen an einem Bauteil vorgenommen, so sollen sich die angrenzenden Bauteile in der Umgebung (die aggregierten Bauteile) selbsttätig an die veränderten Geometrien anpassen. Es sollen dabei keine Lücken zwischen den Bauteilen und keine Überlappungen entstehen. Die Bauteile sollen sich immer an den Flanschflächen berühren.

Um eine solche Logik sinnvoll in Catia V5 umsetzen zu können, wurden aktuelle in der Industrie angewandte Konstruktionsansätze in Relational Design analysiert, die eine hohe Assoziativität zwischen den Geometrien aufweisen.

#### 3.4.1 Parametergetriebene Konstruktionsmethoden

##### Concept Car - Volkswagen

SEIFERT beschreibt parametergetriebene Ansätze zur Visualisierung des Grundpackages bei Volkswagen Nutzfahrzeuge [135]. In dem 2D-Werkzeug *Papst* (PC Applikation zur Package Simulation) erfolgt über die Eingabe von Grundparametern wie Radstand, Überhänge, Anzahl der Sitzreihen usw. eine schnelle Darstellung des Grundkonzepts in einem 2D-Schnitt in Lage der y0-Ebene. Dabei entstehen nach den Wünschen des Anwenders eine einfache Startgeometrie der Außenhautkontur und eine Positionierung der Antriebseinheit, der Räder sowie der Insassen. CAD-Kenntnisse sind bei der Anwendung nicht erforderlich.

##### Allgemeine Konstruktionsmethodik - Daimler

Michael BRILL beschreibt das Systemkonzept von Catia V5 in Bezug auf die Konstruktion von Karosserien bei Daimler [17]. Nach einer allgemeinen Beschreibung des CAD-Systems Catia V5 und den Randbedingungen in einer Karosserieentwicklung erläutert er Ziele einer PaKo bezüglich Komplexitätsreduzierung, Effizienzsteigerung sowie Datenqualitätsoptimierung. Er definiert objektorientierte Entwurfsmethoden für Karosseriebauteile unter Einbeziehung der Randbedingungen der Anwender sowie der Randbedingungen aus dem Entwicklungsprozess, dem Package, der Berechnung, dem Werkzeugbau und den Fertigungsverfahren. Darauf aufbauend leitet er allgemeine Konstruktionsmethodiken ab und beschreibt Gestaltungsregeln für die Konstruktion von Tiefziehteilen, Gussteilen und Ziehwerkzeugen.

Abgesehen von der Verwendung als Nachschlagewerk beschreibt BRILL [17] eine Konstruktionsmethodik, die den Aufbau und die Bearbeitung von großen Modellen in einer PaKo ermöglicht. Elementare Aspekte hierbei sind die Strukturierung der Konstruktionselemente von PaKo-Modellen und Vorschläge zur Erstellung von Bauteilkonzeptgeometrien. Hilfreich hierbei ist die Verwendung von Positionspunkten, Konzeptebenen und vor allem die Verwendung von Konzeptkurven (unter Verwendung von Sketchen<sup>9</sup>). Diese zweidimensionale Entwurfsebene be-

<sup>9</sup> Sketch = Bemaßte 2D-Konturen erzeugt durch einen Sketcher in Catia V5, die in Nachfolgeoperationen

günstigt den Grundaufbau von Konzeptgeometrien und erlaubt eine aufwandsreduzierte Editierbarkeit der Konzeptgeometrien.

#### 3.4.2 Designgetriebene Konstruktionsmethoden

##### Bereichsmodelle - Volkswagen

Die Bereichsmodelle bei Volkswagen werden nach REUTER [120] in eine *bereichsbezogene* Arbeitsweise für die Konzeptentwicklung und eine *bauteilbezogene* Arbeitsweise für die Serienentwicklung unterschieden. Beide Modelle benutzen einen gleichen Adapter. Der Adapter enthält Geometrien wie Fugenverläufe, Flansche oder die Scheibentonnen die für mehrere Nutzer zum Aufbau ihrer Modelle zu verschiedenen Meilensteinen im Projektfortschritt relevant sind.

Das Bereichsmodell stellt dabei mehrere Bauteile in einer groben Detaillierung zusammen in einem CATPart<sup>10</sup> dar. Die Geometrien können schnell und einfach erzeugt werden oder gegebenenfalls aus einem Konzeptkatalog abgerufen werden. Die Bearbeitung mehrerer Bauteile erfolgt durch einen Anwender. Durch die Reduzierung des Modells auf die relevanten Bereiche und das Weglassen von Übergangsbereichen können Varianten schnell erzeugt werden.

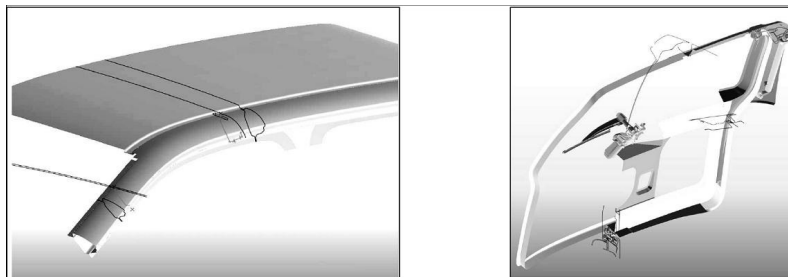


Bild 3-3: Bereichsmodelle bei VW Nutzfahrzeuge [120]

Die Bereichsmodelle dienen rein der Konzeptarbeit. In „2D- und 3D-Mischmodellen“ werden verschiedenste Darstellungsweisen nebeneinander gestellt, um Konzepte so schnell wie möglich und so gut wie nötig darzustellen (siehe **Bild 3-3**). Einzelteile können daher nicht abgeleitet werden.

##### Parametrisch assoziative Türenentwicklung - Audi

Die Entwicklung von Pkw-Türen nach FRANZEN [36] wird bei Audi durch parametrisch assoziative Entwicklungsmodelle unterstützt. Diese sind jeweils nach der Logik eines Relational Design aufgebaut und unterstützen bei Aufgaben der Designbetreuung und der funktionellen Auslegung von Pkw-Türen. Die Ergebnisse dieser eigenständigen Untersuchungsmodelle sind nicht zwingend mit der weiter führenden Konstruktion verlinkt.

Im Rahmen der Designbetreuung erfolgen Analysen der Scheibenabsenkung sowie Fugenun-

---

im Raum extrudiert werden können.

<sup>10</sup> CAT.Part = Ein CAT-Part ist die Dokumentenform eines Parts. Ein Part ist ein 3D- (Strukturierungselement) auf Bauteilebene [14].



tersuchungen unter Beachtung der Scharnierpositionen und der Eindrehwinkel der Türen. Über eine Reihe entsprechender Parameter wie Krümmungsradius der Scheibenabsenkbahnen, Absenkweg oder Fugentoleranzen, Bördelradien sowie Scharnierwinkel können die Geometrien in den parametrischen Modellen gesteuert und somit optimiert werden. Für die funktionale Auslegung werden Modelle zur Untersuchung packagebestimmender Elemente wie Türsteller, Türschlösser sowie –griffe, Faltenbalge sowie der Beschnitt der Fenstergeometrie erstellt. Die Positionierung dieser Komponenten erfolgt parametergesteuert und soll eine frühzeitige Integration dieser Standardkomponenten sichern.

Die einzelnen Untersuchungsmodelle sind teilweise verlinkt und ermöglichen damit einen Informationsaustausch zwischen den Modellen und Entwicklungsteams. Für folgende Fahrzeugprojekte wie Derivate oder Nachfolger können einzelne Konstruktionsbausteine wieder aufgegriffen und weiter verwendet werden. Probleme ergeben sich laut Aussage beim Einsatz dieser Modelle mit wechselnden Partnerfirmen aufgrund der erforderlichen Systemkenntnisse und der notwendigen intensiven Einarbeitung.

### Relational Design - BMW

Relational Design wird bei BMW in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses angewandt, um funktionale Baugruppen bestehend aus mehreren Bauteilen (Sachnummern) in sogenannten „Konzeptgeometriemodellen“ zusammen zu fassen. Diese CAD-Modelle erlauben durch eine Verlinkung der Bauteilgeometrien einen raschen Aufbau der einzelnen Sachnummern sowie Aufwandsreduzierungen bei Änderungskonstruktionen. Zur Erstellung dieser Konzeptgeometriemodelle werden die *Mehrdokumenten-Technik* und die *Eindokumenten-Technik* eingesetzt.

### Mehrdokumenten-Technik - BMW

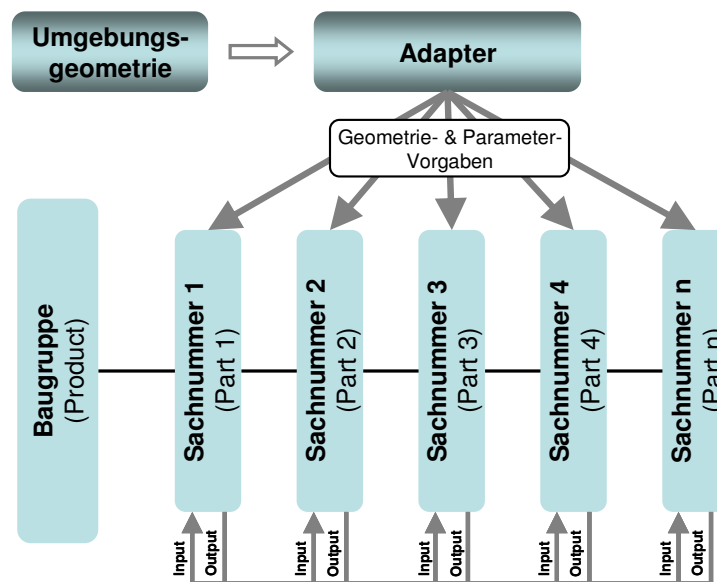


Bild 3-4: Logischer Modellaufbau - Mehrdokumenten-Technik

In der *Mehrdokumenten-Technik* werden die Bauteile einer Baugruppe jeweils einzeln als Parts dargestellt und verlinkt in einer logischen Baugruppe zu einem Product zusammengefasst (siehe **Bild 3-4**). Dieses Vorgehen erlaubt in frühen Entwicklungsphasen die Verantwortung großer Baugruppen durch einen oder wenige Konstrukteure. Die einzelnen Bauteile erhalten dabei ihre geometrischen Eingangsinformationen aus einem Adapter. Der Adapter enthält dabei Parameterangaben und Geometrien aus im Entwicklungsprozess vorgelagerten Bereichen wie z.B.

Designflächen aus dem Außenhaut-Strak oder Fertigungsvorgaben. Zu festgelegten Zeitpunkten im Entwicklungsprozess, den sog. Synchropunkten, werden abgestimmte Änderungen an den Informationen im Adapter assoziativ auf die einzelnen Bauteile übertragen. Zwischen den einzelnen Bauteilen im Product der Baugruppe werden zusätzlich Schnittstellegeometrien über eine Verlinkung ausgetauscht. Hierbei handelt es sich z.B. um Bauteil umhüllende Flächen, Flanschlagen und -flächen oder Beschnittgeometrien, die für den Aufbau der benachbarten Bauteile erforderlich sind. Durch diese assoziative Verlinkung zwischen den einzelnen Bauteilen werden Änderungskonstruktionen beschleunigt. Für eine Strukturierung in den Bauteilen werden die Austauschgeometrien in Input- und Output-Sets im Strukturbaum der Konstruktion abgelegt. Die Verlinkung zwischen dem übergeordneten Adapter und den einzelnen Bauteile kann dabei als eine *hierarchische* Verlinkung verstanden werden. Die Verlinkung der Bauteile untereinander ist als *horizontale* Verlinkung zu bezeichnen (vgl. BRAß [15]).

#### *Anwendung Karosseriegerippe*

Die Bauteile des Seitenrahmens werden in der Konzeptphase konventionell als einzelne „CAT-Parts“ erstellt, bauen aber auf einem gemeinsamen Adapter auf, der relevante Eingangsgeometrien wie die Strakflächen der Designaußenhaut, die Scheibengeometrien, die Türflansche, die Türscharnierlagen und Parameter wie die Materialstärken für die Bauteile bereitstellt. Diese Geometrien dienen zum Aufbau des äußeren Seitenrahmenblechs und des Dachs. In einer horizontalen Verlinkung werden die Geometrien des designabhängigen Seitenrahmenblechs an die darunterliegenden Struktur- und Versteifungsbleche weiter gegeben und somit deren Aufbau beschleunigt. Die verlinkten Flächen werden dabei von den Eltern-Bauteilen in einem Output-Geo.Set<sup>11</sup> bereitgestellt und von den Kindern in einem „Externe Daten Geometrical Set“ aufgenommen. So können Designanpassungen oder z.B. Änderungen an den Scharnierlagen mit einem geringen Anpassungsaufwand an die Außenhautflächen und die darunterliegende Struktur weiter gegeben werden. Der Aufwand für Änderungskonstruktionen wird somit deutlich reduziert.

Bei der Vergabe der Konstruktion an externe Partnerfirmen können Änderungen an der Basis-konstruktion über den Adapter kommuniziert werden. Der Adapter enthält dabei nur die für den Konstruktionspartner relevanten Informationen. Zur Serienfreigabe der Bauteile werden die Links zwischen den Bauteilen gekappt, um in der Serienkonstruktion keine unbeabsichtigten Änderungen an der Konstruktion der Werkzeuge von benachbarten Bauteilen zu verursachen.

#### **Eindokumenten-Technik - BMW**

Der Modellaufbau der *Eindokumenten-Technik* resultiert aus dem logischen Aufbau der Mehrdokumenten-Technik (siehe **Bild 3-5**). In der Eindokumenten-Technik erhalten die einzelnen Bauteile (Sachnummern) ebenfalls über einen externen Adapter Eingangsgeometrien zugewiesen. Im Gegensatz zur Mehrdokumenten-Technik werden aber in der Eindokumenten-Technik die einzelnen Sachnummern der Baugruppe nicht in einem Product zusammengefasst sondern in *einem* CAT.Part konstruiert. Durch dieses Vorgehen lässt sich der Modellaufbau entscheidend vereinfachen. Im Vergleich zur Mehrdokumenten-Technik müssen zwischen den Sach-

---

<sup>11</sup> Das Geometrical Set (kurz: Geo.Set / bis Catia V5R12: OpenBody) ist ein Strukturierungsmittel für Konstruktionselemente innerhalb des Catia V5-Konstruktionsbaums [14] in Form einer Ordnerstruktur. Geometrical Sets werden im Konstruktionsbaum als Box dargestellt und können zusätzlich zu ihrer Ordnungsfunktion die Sichtbarkeit der Konstruktionselemente steuern.

nummern keine Dokumentgrenzen überschritten werden und keine Multi-Model-Links<sup>12</sup> erzeugt werden. Die Auswirkungen von konstruktiven Änderungen auf die gesamte Baugruppe können daher innerhalb des *einen* Dokuments (CAT.Part) leichter überblickt werden. Die Eindokumenten-Technik ist eine Entwicklungsumgebung für frühe Konzeptphasen in denen eine gesamte Baugruppe jeweils von nur einem Konstrukteur verantwortet und bearbeitet wird. Eine teamorientierte Bearbeitung von Baugruppen in Eindokumenten-Technik mit mehreren Konstrukteuren erfordert eine verlinkte Aufteilung der Konstruktionsbereiche.

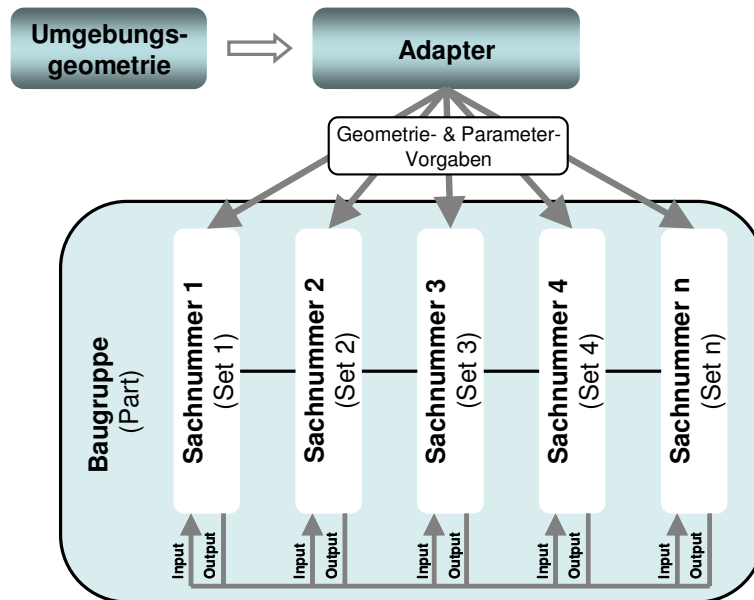


Bild 3-5: Logischer Modellaufbau - Eindokumenten-Technik

### Anwendung Karosseriegerippe

Die Eindokumenten-Technik wurde im Vorfeld dieser Arbeit für die Konstruktion der Karosseriegerippe in der Konzeptphase angewandt. Vorteil dieser Vorgehensweise besteht in der geringen Anzahl von Konstrukteuren, die die Seitenrahmenumfänge der Produktfamilie im Sinne eines Simultaneous Engineering verantworten und bearbeiten können. Änderungen am Design der Außenhaut, dem Konzept sowie Abstimmarbeiten an den Schnittstellen können schnell und in einem vergleichsweise kleinen Kreis von Konstrukteuren vorgenommen werden. Zusätzlich kann der allgemeine Grundaufbau dieser Modelle für nachfolgende Fahrzeugprojekte wieder aufgegriffen werden.

<sup>12</sup> Multi-Model-Link: eine Verlinkung zwischen Geometrien in verschiedenen Parts in einer Produktstruktur oder außerhalb einer Produktstruktur. Für eine konsistente Verwaltung dieser Links ist ein VPM-System zwingend erforderlich. Siehe auch Brass [14].

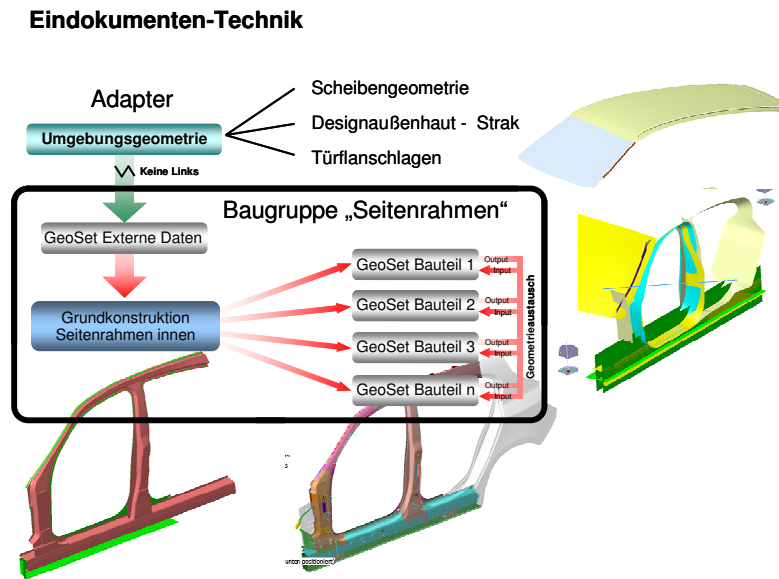


Bild 3-6: Eindokumenten-Technik Seitenrahmen.

Wie in der Mehrdokumenten-Technik werden geometrische Vorgaben der Türflansche, der Scharniere und Türbremsen, des Fugenverlaufs als auch des Straks über einen Adapter bereitgestellt (siehe **Bild 3-6**). Das Seitenrahmenmodell ist in seiner Strukturierungslogik in zwei Blöcke unterteilt: Die *Grundflächenkonstruktion* und die *Bauteilkonstruktion*. In der Grundflächenkonstruktion werden die designbestimmte Außenhaut und die darunterliegenden Tragstrukturen zuerst ohne Bauteiltrennungen entworfen. Ab einem bestimmten Detaillierungsgrad werden diese „Basisgeometrien“ über Links in die Bauteilkonstruktion übertragen. Dort werden die zusammenhängenden Flächen in einzelne Bauteile zerteilt und weiter detailliert. Um in der Eindokumenten-Technik die notwendige Übersichtlichkeit zu wahren, werden in der Bauteilkonstruktion die einzelnen Bauteile (Sachnummern) im Konstruktionsbaum geordnet und in einzelnen Geo.Sets abgelegt. Diese „Bauteil-Geo.Sets“ sind jeweils nach dem OEM-übergreifenden Startmodell<sup>13</sup> gegliedert (siehe hierzu BRILL [17]). Durch diesen geordneten Modellaufbau wird eine reibungsfreie Übergabe der Modelle an die in der Prozesskette folgenden Fachbereiche sichergestellt.

Für die Abstimmarbeiten im Gesamtfahrzeugprojekt werden aus den 3D-Geometrien der Eindokumenten-Technik automatisch assoziative Schnittgeometrien in den Ebenen des Karosserie- und Gesamtfahrzeugplans ausgeleitet und im VPM-System zur Verfügung gestellt .

Vor Beginn der Serienphase werden die einzelnen Bauteile aus der Eindokumententechnik gelöst und einzeln unter entsprechenden Sachnummern im VPM-System abgelegt. So werden ebenfalls wie in der Mehrdokumenten-Technik die Links zur Grundkonstruktion und zwischen den einzelnen Bauteilen gekappt. Die folgenden Konstruktionsprozesse entsprechen einer konventionellen Serienentwicklung mit einer Detaillierung bis zum fallenden Werkzeug.

<sup>13</sup> Im CAD-CAM-Strategiearbeitskreis-Nr. 2.6 zwischen Audi, BMW, Ford, Porsche und Volkswagen wurde im Zeitraum zwischen 2006 und 2007 in Zusammenarbeit ein herstellerübergreifendes Startmodell für Konstruktionsmodelle verabschiedet. Durch eine einheitliche Ordnung der Konstruktionselemente in den Modellen werden Kostenpotenziale bei den häufig wechselnden Konstruktionspartnern erhofft. Das Startmodell untergliedert sich in Sets für externe Daten und Output, Konstruktion, Beschnitt, Fertigteil-Flächen und Information-Fertigung.

### 3.5 Fazit Konstruktionsmethoden

Zusammenfassend werden an dieser Stelle die vorgestellten Ansätze tabellarisch aufgeführt und hinsichtlich ihrer Eignung für die Verwendung in der Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität bewertet. Siehe **Tabelle 3-1**.

Tabelle 3-1: Bewertung CAD-Ansätze

Wissenschaftliche Ansätze	Bezug Karosserie-konstruktion	Schwerpunkt Konstruktions-methodik	Schwerpunkt Modell-aufbau	Schwerpunkt Änderungs-aufwand	Schwerpunkt Assoziativität	Integration Entwicklungs-prozess	Integration Produktions-prozess	Gesamt-bewertung
Melcher, Flugzeugvorentwurf	○	◐	◐	◑	◐	◑	○	◐
Niemiersk, Parametergesteuerter Karosserieentwurf	●	◐	◐	◐	◐	●	◐	◐
Rudolf, EWS-Car	◐	◐	●	◐	◐	◐	○	○
Forsen, Systematischer Konstruktions-ansatz für Karosseriebauteile	●	●	●	◑	●	◑	◐	◑
<b>Konstruktionsprozess Karosserie</b>								
Grabner / Haslauer, Schnittetechnik	●	●	●	◐	●	●	◐	◐
Haslauer, Adaptertechnik	●	●	●	●	●	●	◐	◑
Braß, Explicid Design	◐	●	●	○	○	◐	◐	◐
Braß, Advanced Design	◐	●	●	◐	◐	◐	◐	◐
Braß, Reational Design	◐	●	●	◐	●	●	◐	◐
Braß, Process Chain Integration	◐	●	●	●	●	●	●	●
<b>Industrielle Ansätze</b>								
Seiffert, Concept Car - Volkswagen	◐	◐	◐	●	◐	●	○	◐
Brill, Konstruktionsmethodik - Daimler	◐	●	◐	◐	◐	●	◐	◐
Reuter, Bereichsmodelle - Volkswagen	●	●	◐	◐	●	●	◐	◐
Franzen, Türenentwicklung - Audi	●	◐	◐	◐	●	●	◐	◐
Tesch, Eindokumenten-Technik - BMW	●	●	●	●	●	●	◐	●
Tesch, Mehrdokumenten-Technik - BMW	◐	●	●	◐	◐	●	◐	◐

#### 3.5.1 Fazit Wissenschaftliche Ansätze

Der Ansatz von MELCHER ist auf die parametrische Entwicklung von Flugzeugaußenhäuten beschränkt. Da sich die Außenhäute von Flugzeugen durch regelmäßige und geometrisch wenig komplexe Geometrien beschreiben lassen, unterscheiden sich diese stark von den bauraumgetriebenen, unregelmäßigen Bauteilgeometrien einer Kfz-Bodengruppe. Aus diesem Grund werden die bei MELCHER beschriebenen Methoden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter verfolgt.

NIEMIERSKI zeigt einen ersten Vorstoß zur parametrischen Entwicklung von Fahrzeugkarosserien. Die damals verwendeten CAD-Systeme erhalten keine weitere Beachtung, jedoch der methodische Ansatz zur Entwicklung einer parametrischen Karosserie wird für die Entwicklung der vorliegenden Methodik aufgegriffen.

RUDOLF präsentiert einen gesamthaften Ansatz zur Entwicklung und Bewertung von Fahrzeugkarosserien mit einer hoch automatisierten Entwicklungsmethodik. Die Integration in konventionelle, automobile Entwicklungsprozesse mit einer Vielzahl an prozessbeteiligten Ingenieuren

wird in diesem Ansatz außer Acht gelassen. Da die geplante Methodik für Strukturvariabilität in konventionelle Prozesse integrierbar sein soll wird sich diese daher auf konventionelle Arbeitsmethoden und -werkzeuge stützen.

Der von FORSEN beschriebene Ansatz einer assoziativen Modelllogik für eine Konstruktion von Baugruppen in der Karosserie unter Beachtung der logischen Integration von angrenzenden Konstruktionsbereichen ist im Sinne einer Strukturvariabilität als zielführend zu erachten. Für die Ableitung von Karosseriederivaten mit einer Vielzahl von Komponenten aus dem Karosseriebaukasten wird dieser Ansatz in die Umsetzung einer geeigneten Konstruktionsmethodik mit einbezogen.

#### 3.5.2 Fazit Konstruktionsprozess Karosserie

HASLAUER zeigt zwei essentielle Werkzeuge des Konstruktionsprozesses für Fahrzeugkarosserien: die Schnitttechnik und die Adaptertechnik. Beide Prozesse werden aktuell in der Automobilindustrie in ähnlicher oder abgewandelter Form angewandt. Für die Derivatentwicklung im Rahmen der Strukturvariabilität wird vor allem die *Schnitttechnik* als ein zielführendes Medium erachtet, da dieses ein traditionell und allgemein anerkanntes Vorgehen darstellt.

Die Ausführungen von BRAB zeigen die unterschiedlichen Evolutionsstufen der PaKo. Das *Relational Design* ist für diese Arbeit als zielführend zu erachten. Durch diese Modelllogik können Änderungen in der Konstruktion mit geringem Aufwand assoziativ zwischen den Konstruktionselementen ausgetauscht werden.

Ogleich einer guten Bewertung laut **Tabelle 3-1** wird die *Process Chain Integration* nach BRASS im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Eine Konstruktion der Produktionseinrichtungen ist in den frühen Phasen des Entwicklungsprozess aufgrund der häufigen konzeptionellen Produktänderungen noch nicht zielführend. Die Abschätzung der Produktionskosten im Rahmen dieser Arbeit wird daher auf Basis der produktseitigen Konstruktionsdaten erfolgen.

#### 3.5.3 Fazit Industrielle Ansätze

##### Fazit Parametergetriebene Konstruktionsansätze

Eine vereinfachte Darstellung der Fahrzeugproportionen mit Insassen und Komponenten in 2D-Konturen und deren Steuerung über Parameter, wie von SEIFFERT beschrieben, wird im Rahmen dieser Arbeit aufgegriffen und in modifizierter Form weiterentwickelt.

Der Stellhebel in parametergetriebenen Konstruktionsansätzen ist die Veränderung von *Konstruktionsparametern*, die eine assoziative Abänderung der nachfolgenden konstruierten Geometrien nach sich zieht. Diese Konstruktionsmethode ist hauptsächlich im klassischen Maschinenbau zu finden, wo nach der Doktrin „form follows function“ konstruiert wird. Diese Konstruktionsmethode ist in den Ausführungen nach BRILL wiederzuerkennen, die sich mit der Konzeptkonstruktion von Bauteilen der Bodengruppe beschäftigt. Der Flächenaufbau nach BRILL zeichnet sich durch eine Reduktion der für die Konstruktion notwendigen Konstruktionselemente aus und reduziert somit die Datengröße der Konstruktionsmodelle (vgl. [17]). Zusätzlich begünstigt dieser Flächenaufbau die Assoziativität in der Konstruktion und wird daher als vorteilhaft in der Konzeptkonstruktion erachtet. Als zielführend für die Strukturvariabilität stellt sich an der Konstruktionsmethodik nach BRILL zusätzlich die Steuerbarkeit der Konzeptkurven über Parameter dar.

## Fazit Designgetriebene Ansätze

Die Verwendung von Adaptermodellen zur Übertragung von übergeordneten Geometrien, gezeigt in den Ansätzen von REUTER und FRANZEN sowie in der *Ein- und Mehrdokumenten-Technik*, wird im Rahmen dieser Arbeit für den Aufbau der Konstruktionsmethodik als zielführend angesehen.

Der methodische Modellaufbau einer Mehrdokumenten- und vor allem der einer Eindokumenten-Technik wird für die Erstellung der Konstruktionsmethodik in dieser Arbeit favorisiert. Beide Konstruktionsmethoden unterstützen einen gesamthaft assoziativen Aufbau der Konstruktionsmodelle und ermöglichen eine parametrische Steuerung der Konstruktionsumfänge. In Summe wird eine parametrisch assoziative Konstruktion durch diese Modelllogik in ihrer Effektivität begünstigt.

Mit der *Eindokumenten-Technik* kann ein Konstrukteur die Bauteile (Sachnummern) einer umfangreichen Baugruppe mit reduziertem Aufwand konstruieren und bearbeiten, da alle Teile der Baugruppe in einem Konstruktionsmodell (CATPart) erstellt werden. Wie bereits beschrieben, können die einzelnen Konstruktionselemente der Bauteile für den Aufbau benachbarter Bauteile wieder und weiter verwendet werden. So wird die Geometrieerstellung beschleunigt. Durch die gesetzten Assoziationen zwischen den Bauteilgeometrien lassen sich Änderungen mit reduziertem Aufwand, im besten Fall automatisch durchführen. Als weiterhin vorteilhaft an der Eindokumenten-Technik zeigt sich in diesem Zusammenhang, dass bei einem Update-Vorgang die verlinkten Geometrien zwischen den Sachnummern im Modell keine Bauteilgrenzen überwinden müssen und dadurch die Update-Zeit reduziert sowie die Update-Sicherheit verbessert wird.

Als nachteilig an der *Eindokumenten-Technik* stellt sich für die Anwendung in dieser Arbeit heraus, dass im fortgeschrittenen Projektverlauf eine Arbeit im Team an den Konzeptgeometrien, die nur aus einem Part bestehen, erschwert wird. Auch zeigen sich erste Computerhardwarebedingte Probleme bei der Bearbeitung der Modelle, wenn eine Datengröße von 150 - 200MB für das Modellfile überschritten wird. Hier ist es mit steigender Detaillierung und im fortgeschrittenen Projektverlauf sinnvoll die Konzeptgeometriemodelle in kleinere mit einander verlinkte Baugruppen und schlussendlich in Einzelteile zu zerlegen. So wechselt man von einer Eindokumenten-Technik in eine Mehrdokumenten-Technik. Vorteile der *Mehrdokumenten-Technik* zeigen sich somit für die Strukturvariabilität erst in der fortgeschrittenen Projektanwendung. Dieser Modellaufbau empfiehlt sich bei der Arbeit mit verlinkten Konstruktionsumfängen in größeren Teams. In einer Erweiterung erlaubt dieser Modellaufbau sogar eine Arbeitsweise in einer „Verlängerten Werkbank“, bei der abgeschlossene Konstruktionsumfänge an Partnerfirmen vergeben werden können.

### 3.5.4 Empfehlung

Aus den genannten Gründen soll die Eindokumenten-Technik als die maßgebliche Konstruktionsmethodik für den Aufbau der Konstruktionsmodelle der Strukturvariabilität und für die Ableitung von Derivaten genutzt werden. Übergeordnete Geometrien sollen über einen Adapter in die Konstruktionsmodelle eingespeist werden. Diese Konstruktionsmethodik soll in den konventionellen Konstruktionsprozess integriert werden und daher wird auf die Arbeitsweise mit Karoserieschnitten in einer abgewandelten Weise zugegriffen.

Laut MENDGEN [92] kann es aber in diesem Zusammenhang bei nicht trivialen Modellen leicht zum Verlust des Überblicks über die geschaffenen Assoziationen und Abhängigkeiten kommen. Daher ist es absolut unerlässlich eine stringente und im Sinne einer Konvention bindende Modell-Logik bezüglich der zu verlinkenden Geometrien zu schaffen sowie einen verbindlichen

### 3. Parametrisch assoziative Konstruktion

---

Aufbau der Ordnungsstruktur im Konstruktionsbaum der Modelle vorzugeben. Erst durch diese Maßnahmen ist eine eindeutige Nachvollziehbarkeit für alle am Projekt beteiligten Konstrukteure sowie eine Nachhaltigkeit der Modelle selbst bei wechselnden Bearbeitern sicher zu stellen.



## 4 Intension des Forschungsprojekts

In diesem Abschnitt wird der „Stand der Technik“ zusammengefasst und der Handlungsbedarf für die Entwicklung einer Methodik zur Bewertung von Derivateableitungen in Produktfamilien auf Basis einer skalierbaren Plattform in frühen Phasen formuliert. Im Vergleich zu den recherchierten Methoden und Bewertungssystemen wird der Neuartigkeitsgrad der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methodik herausgestellt.

### 4.1 Handlungsbedarf

In frühen Phasen des Entwicklungsprozesses von Produktfamilien werden in kurzer Zeit sehr viele unterschiedliche Varianten für die Ableitung der geplanten Fahrzeugkarosserien im Produktportfolio diskutiert. Aufgrund der Fülle an individuellen Fahrzeugprojekten ist hier eine Verkürzung der Zeit für die Entwicklung und Visualisierung der Ableitungsszenarien absolut unerlässlich. In diesem Zusammenhang stellt die aktuell in der Fahrzeugentwicklung angewandte Arbeitsweise mit der Verwendung von Fahrzeugschnittplänen eine nicht genügend detaillierte Arbeitsbasis dar. In dieser Arbeitsweise wird das räumliche Verständnis für skalierte Karosseriebereiche in Produktfamilien zu wenig unterstützt und Knotenbereiche die sich außerhalb der Schnittebenen befinden, können nicht visualisiert werden. Üblicherweise setzt die 3D-Konstruktion erst im fortgeschrittenen Entwicklungsprozess ein. Die Arbeitsgrundlage beschränkt sich daher auf die Topologien von Vorgängerfahrzeugen. Kommunalitäten und skalierte Karosseriebereiche können in dieser Arbeitsweise mit Schnitten und mit CA-Modellen der Vorgängergeneration lediglich als Prämisse gesetzt werden. Eine direkte Bearbeitung und Analyse von Kommunalitäten sowie skalierten Bereichen kann nur bedingt vorgenommen werden.

Im späteren Projektverlauf können derzeit nur das Basismodell und vereinzelt weitere Derivate in einer gesamthaften Konstruktion dargestellt werden. Die Konstruktion der folgenden Derivate erfolgt gegenwärtig kapazitätsbedingt erst später im Prozess in Abfolge der Anlauftermine der Derivate. Für diese Derivate notwendige Änderungen an kommunalen Karosserieumfängen werden oft erst spät erkannt und verursachen in der Regel hohe Änderungsaufwände in der Konstruktion sowie hohe Änderungskosten in der Produktfamilie. Ein frühzeitiger Wissenszugewinn durch die parallele Darstellung aller Derivatbodengruppen vor allem bei Produktfamilien in einer großen Spreizung der Derivate (vgl. skalierbare Plattform) wird in Zukunft schon zu Beginn der Entwicklung unerlässlich sein.

Eine frühzeitige wirtschaftliche Bewertung der einzelnen Derivateableitungsszenarien kann zurzeit aufgrund der in den verschiedenen Fachabteilungen verteilten Daten nur sehr begrenzt vorgenommen werden. Weiterhin sind hierbei auch die deutlich unterschiedlichen Wissensstände und Interessenströmungen in den unterschiedlichen Fachabteilungen limitierend. Auch hier wird es in Zukunft unerlässlich sein, eine genaue Abschätzung der Betriebswirtschaft der differenzierten Derivate für Entscheidungsfindungsprozesse schon in frühen Prozessphasen zur Verfügung stehen zu haben.

### 4.2 Neuheit der entwickelten Methodik

Die in den **Kapiteln 5** und **6** beschriebene und validierte Entwicklungs- und Bewertungsmethodik für Derivateableitungen soll helfen die aufgezeigten Potenziale für den Entwicklungsprozess von Derivaten in Produktfamilien zu erschließen.

So ist es möglich mit der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konstruktionsmethodik unter

#### 4. Intension des Forschungsprojekts

Verwendung der Eindokumenten-Technik und eines in der Konstruktion hinterlegten Wissens über Architekturen und differenzierte Fahrzeugproportionen eine dreidimensionale, parametrisch assoziative Konzeptkonstruktion der Bodengruppe parallel für alle Derivate im Sinne einer skalierbaren Produktfamilie zu erstellen. Das Aufzeigen, die Analyse und die Optimierung von konzeptkritischen Bereichen werden somit durch die parallele dreidimensionale Darstellung aller Derivate der Produktfamilien direkt begünstigt. Notwendige Änderungen an kommunalen Karosseriebereichen können durch die entworfene Konstruktionsmethodik mit geringem Aufwand auf alle Derivate der Produktfamilie übertragen werden. Die Findung eines optimalen Standardisierungsansatzes für die gesamte Produktfamilie wird somit stark begünstigt.

Nach der Geometrieerstellung werden die unterschiedlichen erstellten Szenarien je Derivat über eine automatische Auswertungsroutine hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit (Investitionskosten, Herstellkosten und Kapitalwert) in der Blechumformung und im Karosseriebau bewertet. In der Literatur und der Industrie gibt es derzeit eine Vielzahl allgemeiner Bewertungssysteme zu Plattformen ([21], [55], [63], [72], [117], [131]), Baukästen ([70], [119]) und Modularisierung ([18], [19], [29], [40], [111], [155]). Weiterhin wurden im Rahmen dieser Arbeit in der Industrie und der Literatur assoziative und parametergetriebene Konstruktionsansätze recherchiert (vgl. Kapitel 3). Zudem wurden Bewertungssysteme für Pressteile und Bewertungssysteme für den Karosseriebau aufgefunden.

Eine gesamthafte Bewertungsmethodik für die Ableitung von Karosseriederivaten in frühen Phasen, die auf einer parametrisch assoziativen Konstruktionsmethodik für die Entwicklung der Karosseriebodengruppen aller Derivate einer Produktfamilie im Sinne einer skalierbaren Plattform basiert und eine Ableitung der skalierten Derivate in verschiedenen Kommunalitätsansätzen gesteuert über Parametern erlaubt sowie anschließend eine automatisierte Bewertung der Erreichung der geforderten Maßziele, der Kommunalität und der Kostenstruktur der Derivate durch ein Kennzahlensystem ermöglicht, ist noch zu entwickeln.

## 5 Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität

In diesem Kapitel wird die entwickelte Konstruktions- und Bewertungsmethodik für Derivateableitungen in Produktfamilien detailliert vorgestellt. Eingangs werden die einzelnen Grundelemente der Methodik und die erforderlichen Arbeitsschritte erläutert. Die notwendigen Anforderungen und Prämissen werden aufgezeigt. Die Beschreibung der entwickelten Konstruktionsmethodik und der daran angeschlossenen automatischen Auswerteroutine stehen im Vordergrund des folgenden Abschnitts. Anschließend wird die Vorgehensweise zur betriebswirtschaftlichen und geometrischen Auswertung der Ableitungsszenarien erläutert und die Anwendung der gesamtartigen Methodik beschrieben. Finales Element bildet die Bildung der Derivateableitungskennzahl für die zu bewertenden Szenarien mit der für die geplanten Derivate einer Produktfamilie ein optimaler Kommunalitätsansatz gefunden werden kann.

### 5.1 Übersicht der Bewertungsmethodik

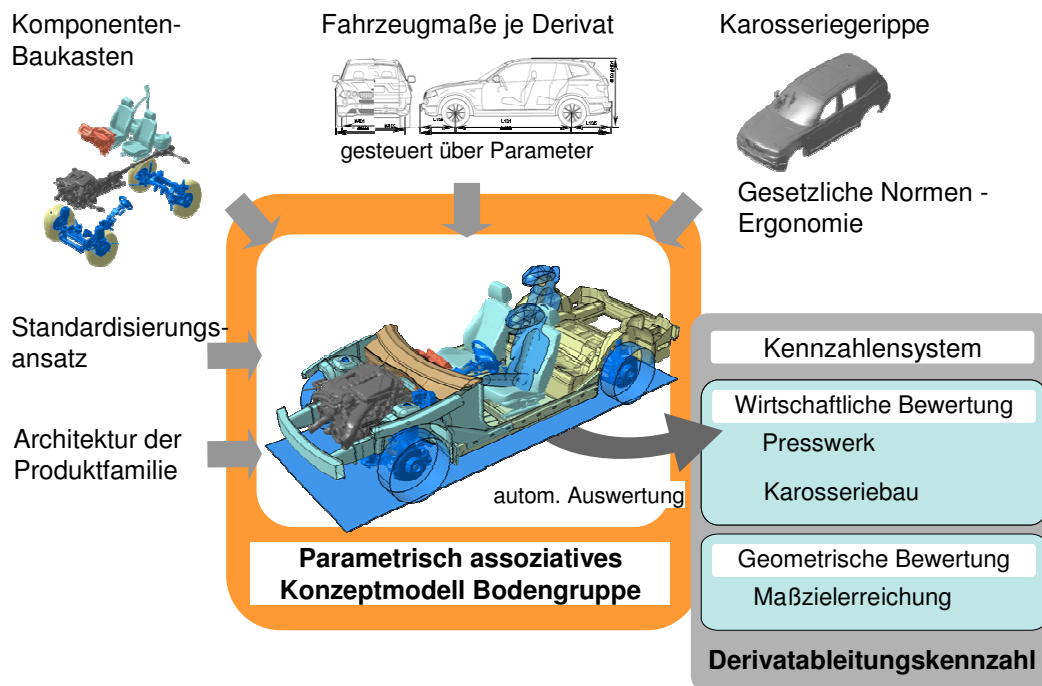


Bild 5-1: Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität

In **Bild 5-1** ist der logische Aufbau der Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität dargestellt. Eingangsgrößen für die Bewertungsmethodik bilden die gesetzten Prämissen für Produkt und Produktion. Diese setzen sich zusammen aus der gesetzten *Grundarchitektur* der Produktfamilie, der geplanten *Kommunalitätsstrategie*, dem festgelegten *Komponentenbaukasten* sowie den angestrebten *Fahrzeugmaßen* der Derivate und der vom Design entworfenen *Außenhaut* der Derivate als auch den *gesetzlichen Normen* und der *Ergonomie* der Insassen. Diese Informationen finden Eingang in die parametrisch assoziative Konstruktion einer Karosseriebodengruppe realisiert in einer Eindokumenten-Technik. Die jeweiligen Derivate können mit dieser Bodengruppe *parametergesteuert* entsprechend der geforderten Fahrzeugmaße erstellt werden. Eine an die Konstruktion angeschlossene Auswerteroutine bewertet die Derivate hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und fasst die Ergebnisse in der Derivateableitungskennzahl zusammen.

## 5. Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität

Im Folgenden werden die einzelnen Bausteine der Methodik für Strukturvariabilität und deren Zusammenwirken detailliert erläutert. Siehe hierzu **Bild 5-2**.

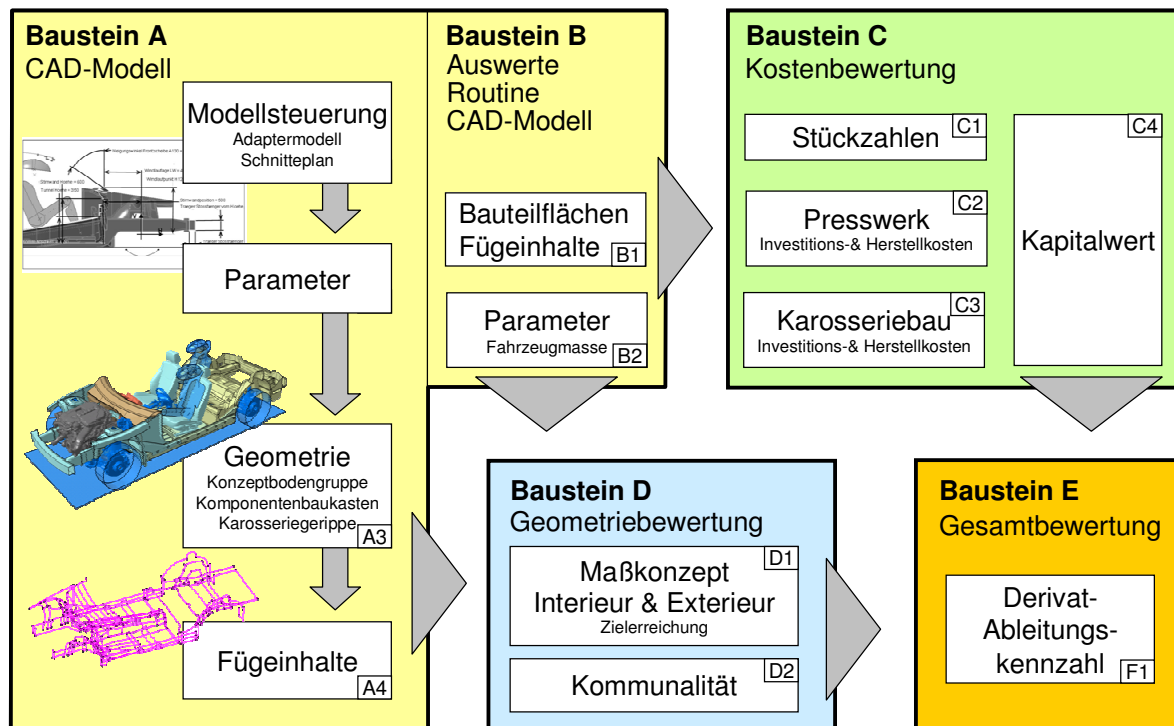


Bild 5-2: Übersicht Bewertungsmethodik

### Baustein A – CAD-Modell

Die parametrisch assoziative Konzeptbodengruppe in Eindokumenten-Technik (A3) bildet den Hauptbestandteil der Bewertungsmethodik. Für die Erstellung unterschiedlicher Ableitungsszenarien ist die Bodengruppe über Parameter (A2) in ihrer Dimensionierung steuerbar und kann unterschiedliche Kommunalitätsansätze realisieren. Für eine intuitive Steuerung des Modells werden die Parameter (A2) über ein Adaptermodell oder graphisch in den Ebenen des GFP in einem Schnitteplan (A1) verändert. Die Wahl der Steuerparameter sowie die in der Konstruktion hinterlegte Logik für Kommunalität und Differenzierung basiert auf den Ergebnissen der Fahrzeuganalysen in **Kapitel 2.4**. Zusätzlich sind die Fügeinhalte des Karosserierohbaus (A4) in der Konstruktion parametrisch assoziativ hinterlegt. Anhand dieser Elemente kann eine Bewertung der Karosseriebauumfänge durchgeführt werden.

Vor der eigentlichen Bewertung muss natürlich zuerst das Bodengruppenmodell (A3) in einem Konstruktionsprozess mit der nachfolgend beschriebenen Konstruktionsmethodik geschaffen werden. Dieses hat dabei der Architektur, der spezifischen Topologie und der Bauteiltrennung sowie den Maßen des Basisfahrzeugs der Produktfamilie zu genügen. Im nächsten Schritt der Bewertung wird dieses Modell in iterativen Arbeitsschritten an die Masse der abzuleitenden Zielerivate angepasst. Dieser Vorgang erfolgt idealer Weise nur parametergesteuert (A2) im Schnitteplan (A1). Erforderliche Bauteilumfänge des Derivats, die von der Topologie des Basisfahrzeugs stark abweichen, müssen in konventioneller Weise manuell neu konstruiert werden.

### Baustein B – Auswerteroutine CAD-Modell

Eine automatische Auswerteroutine in Form eines VB-Skript erlaubt im nächsten Schritt des Bewertungsvorgangs das Basismodell sowie die geometrisch erstellten Ableitungsszenarien der Derivate miteinander zu vergleichen und für die wirtschaftliche Bewertung aufzubereiten. Hierbei werden durch die Auswerteroutine die Bauteilflächen der einzelnen Sachnummern und die

Anzahl der Fügeinhalte (Schweißpunkte) in der Bodengruppe ermittelt (B1). Zusätzlich werden die Steuerparameter (A2/B2) des aktuellen Modellstands dokumentiert. Die Sicherung der Daten erfolgt dabei in einem geeigneten Tabellenprogramm.

### **Baustein C - Kostenbewertung**

Die Bewertung der Kostenstruktur der abgeleiteten Derivate erfolgt teilweise automatisiert über zusätzliche Auswerteroutinen. Diesen Auswerteroutinen werden dabei die geometrischen Daten des CAD-Modells, die geplanten Stückzahlen (C1) der Derivate, die Investitionskosten sowie die proportionalen Herstellkosten der Blechumformung (C2) und des Karosseriebaus (C3) auf Basis von Referenzfahrzeugen zur Verfügung gestellt. Mit diesen Daten werden die Investitions- und Herstellkosten der zu bewertenden Derivate approximiert und daraus ein derivatspezifischer Kapitalwert (C4) abgeleitet.

### **Baustein D - Geometriebewertung**

Zusätzlich zur wirtschaftlichen Bewertung werden die erstellten Szenarien bezüglich der Einhaltung der vorgegebenen Maßketten von Interieur und Exterieur (D1) beurteilt. Maßgeblich verantwortlich für Verfehlungen der Zielmaße sind hierbei die Integration von kommunalen Komponenten aus dem Komponentenbaukasten sowie die kommunale Übernahme von Karosseriebauteilen und gesamter Baugruppen aus der Basis. Eingang in diese Bewertung finden die Zielwerte aus den Fahrzeugmaßplänen der jeweiligen Derivate. Zusätzlich wird in diesem Baustein die Kommunalität der Derivateableitungen auf Bauteilebene der Bodengruppen bewertet.

### **Baustein E - Gesamtbewertung**

Abschließend werden die erstellten Ableitungsszenarien gesamthaft über die Derivateableitungskennzahl (F1) zueinander gewichtet. Diese Kennzahl ermöglicht einen Vergleich der einzelnen Ableitungsszenarien unter Einbeziehung der Bewertungsergebnisse aus Baustein C und D der Bewertungsmethodik. Es werden somit die Erreichung der Maßziele, die Kommunalität und die Kapitalwerte der jeweiligen Szenarien zu einander gewichtet.

## **5.2 Anforderungen und Prämissen**

### **Allgemeine Anforderungen an die Bewertungsmethodik**

Der Forderung nach einer einfachen Handhabbarkeit der Bewertungsmethodik wurde während der Erstellungsarbeiten ein hoher Stellenrang eingeräumt. Diese Anforderung ist zwingend gepaart mit der Forderung nach einer Anwendbarkeit des Tools auf konventionellen Rechnerstrukturen mit einschlägiger Software. Im Rahmen dieser Arbeit wurden CA-PCs mit Catia V5R17 und konventionelle MS Office Anwendungen, im Speziellen MS Excel herangezogen. Für die Entwicklung der Konstruktionsmethodik galt als oberste Prämisse den Benutzerkonstruktoren ein intuitives Sich-Zurechtfinden durch eine geeignete Arbeitsumgebung und einen geeigneten Modellaufbau sicher zu stellen. Die Arbeitsumgebung und der Modellaufbau beziehen sich hierbei auf die Verwendung allgemein gültiger Startmodelle, den Geometrieerstellungprozess unter Verwendung von Konzeptlinien und die im frühen Karosseriekonstruktionsprozess übliche Entwicklungsumgebung der Schnittebenen des Gesamtfahrzeugplans (GFP) und des Karosserieplans (KP).

### **Anforderungen an die parametrisch assoziative Konstruktion**

Prozessbedingt erfolgen die Arbeiten an den ersten Konzeptgeometrien eines neuen Fahrzeugs bzw. der Grundarchitektur einer neuen Produktfamilie meist in einem kleinen Team von Kon-

strukturen. Da sich solche Konstruktionsteams in den meisten Fällen aus einem Kreis von beratenden Konstrukteuren und den ausführenden Konstrukteuren „am Bildschirm“ zusammensetzen, bewegt sich die Anzahl der direkt geometrieschaffenden CAD-Anwender meist im Rahmen von 1-4 Personen. Dieser kleine Personenkreis muss dabei alle anfallenden Konstruktionsumfänge an den Konzeptkarosserien der Bodengruppen bewältigen und verwalten können. Die im Rahmen dieser Arbeit geschaffene parametrisch assoziative Konstruktionsmethodik soll die Konstrukteure bei diesem Vorhaben unterstützen. Im Speziellen soll die Ableitung von Derivaten weitgehend durch eine Variation vorgegebener Ableitungsparameter möglich sein und nur durch einen einzigen CAD-Anwender durchgeführt werden können.

Die Modellgröße soll einen Grenzwert von 100 bis 150 MB nicht überschreiten, um vertretbare Update-Zeiten und ein stabiles Modellverhalten garantieren zu können. Die Bedienung des Modells soll intuitiv erfolgen und den Anwender von unnötigen sich wiederholenden Arbeitsschritten einer Änderungs- und Variantenkonstruktion entlasten. Durch eine nachhaltige Konstruktionsweise ist ein sicheres Updateverhalten des Karosseriemodells sicher zu stellen, um eine allgemeine Akzeptanz der gesamten Methodik erreichen zu können. Hierbei sei auf eine wohlwollende Dimensionierung der Konzeptflächen und ein striktes Vermeiden der Verwendung von Boundary-Representation-Elementen<sup>14</sup> verwiesen.

Das Konstruktionsmodell der Strukturvariabilität und dessen hinterlegte Methodik sind nicht als Modell zur automatischen Ausleitung von Serienbauteilgeometrien zu verstehen. Der Zweck ist die Erstellung und Bewertung von konsolidierten Karosseriekonzepten für große Produktfamilien in der Strategie- und frühen Vorleistungsphase. Die Weiterentwicklung der Konzepte und Bauteile in der Konzeptphase und der Serienphase bis zu einer Produktionsreife ist nicht direkter Bestandteil dieser Arbeit. In der aktuellen Projektanwendung wurde die Konstruktionsmethodik für eine Weiterverwendung bis in die Serienphase über entsprechende Konstruktionsvorschriften ertüchtigt.

### Aufbau der Karosserieumfänge

Die entwickelte Konstruktionsmethodik ist in ihrem logischen Aufbau auf viele denkbare Karosseriebauweisen anwendbar. Wie in **Kapitel 2.3.2** beschrieben ist die Stahl-Schalenbauweise Stand der Technik für Fahrzeuge in Produktfamilien im Stückzahlenbereich von Großserien. Daher wird die Methodik im Rahmen der folgenden Anwendung auf die Konstruktion von Karosserien in einer Stahl-Schalenbauweise appliziert.

Für ein stabiles Up-Date-Verhalten ist die Konstruktion der Karosseriebodengruppe auf großflächige Karosseriebauteile beschränkt. Halter und Kleinteile wie Schweißmuttern und Bolzen sowie Sickenbilder und Lochungen werden nicht betrachtet. Jedoch verfügen alle Bauteile über eine Darstellung der notwendigen Flansche mit Flanschabständen zur Darstellung der Fügeinhalte.

---

<sup>14</sup> Boundary-Representation-Element (kurz: B-Rep-Element): Als B-Rep-Elemente werden in Catia die Begrenzungslinien und –kanten sowie Einzelflächen der Konstruktionsgeometrien bezeichnet. Diese Elemente erhalten im Aufbau eine programminterne Nummerierung. Bei einem Update-Vorgang werden diese Konstruktionselemente neu erzeugt und neu nummeriert. Konstruktionselemente die sich auf die Nummerierung dieser B-Reps beziehen können durch die Neuvergabe der Elementnummerierung eine falsche Referenzierung erhalten und somit nicht mehr aufgebaut werden. Der Update-Vorgang wird gestoppt und die Konstruktion ist unvollständig. Von der Verwendung von B-Rep-Elementen in parametrisch-assoziativen Konstruktionen ist daher strikt abzuraten.

Das Materialkonzept und die Wandstärken der einzelnen Bauteile für die Bewertung der Presswerksumfänge sind aus einem Referenzfahrzeug zu entnehmen und werden vom Basismodell aus auf die gesamte Produktfamilie übertragen. Für eine weiterführende Detaillierung der Bewertung können im Nachgang einzelnen Bauteilen derivatspezifische Werkstoffe und Wandstärken zugewiesen werden. Für die Bewertung der Karosseriebauumfänge ist das Punktschweißen als Fügeverfahren gesetzt (vgl. **Abschnitt 2.5.2**). Alternative und zusätzliche warme sowie kalte Fügeverfahren und die Verwendung von Befestigungselementen wie Bolzen, Schrauben und Muttern können anforderungsbedingt in den Bewertungsprozess integriert werden. Über eine Normierung auf eine entsprechende Anzahl von Schweißpunkten können diese Umfänge zur Anzahl der Schweißpunkte addiert werden. In diesem Zusammenhang werden die in der Automobilindustrie üblichen Normierungsverfahren herangezogen. Exemplarisch seien die Normierungsverfahren nach dem Harbour Report, die Benchmark-Normierung und die Normierung nach Volkswagen genannt. Als Beispiel werden dabei 1000 mm CO<sub>2</sub>-Lasernaht auf 136 Schweißpunkte oder 1000 mm Festigkeitskleber auf 30 Schweißpunkte normiert.

## Werkekonstellation

Für die nachfolgende wirtschaftliche Bewertung wird ein Produktionswerk mit Presswerk, einem Karosseriebau und einem Produktionsvolumen von maximal 1000 Fahrzeugeinheiten pro Tag betrachtet. Die Strukturinvestitionskosten für die Werkestrukturen sowie die Pressenanlagen im Presswerk werden nicht betrachtet. Das Presswerk soll die Karosseriebauteile der Bodengruppe in sinnvollen Abpressrhythmen produzieren und der Karosseriebau soll über eine typplexible Rohbaulinie verfügen, auf der 3 verschiedene Karosserietypen gefertigt werden können. Die Werkslogistik soll den Strom an Bauteilen bewältigen und über die notwendigen Lagerflächen verfügen. Wie bereits in **Kapitel 2.5.2** genannt, soll aber keine Bewertung der logistischen Umfänge erfolgen. Das betrachtete Werk ist für die Bewertung als Insel-Lösung zu verstehen. Die in der Automobilindustrie üblichen, logistischen Verflechtungen verschiedener Werke zu einem Werkeverbund mit einer Vielzahl von Bauteilströmen zwischen den Werken soll für die folgenden Betrachtungen im Sinne einer Vereinfachung außer Acht gelassen werden.

## 5.3 Baustein A – CAD-Modell

In diesem Abschnitt wird der Aufbau der CAD-Umfänge der Bewertungsmethodik erläutert. Fokus sind die konstruktiv umgesetzten Bereiche der Karosseriebodengruppe, der Modellaufbau als auch die im Modell hinterlegte Steuerlogik und die für eine Derivateableitung erforderlichen Umfänge aus dem Gesamtfahrzeug.

### 5.3.1 Übersicht Modellaufbau

Wie in **Bild 5-3** dargestellt, bilden die Überlegungen aus **Kapitel 2.4** zu Kommunalität, Skalierung und Differenzierung sowie die Analyse der Maßketten im Fahrzeug die Grundlage für den Geometrieerstellungsprozess der Bodengruppe als auch die Grundlage für die in der Konstruktion hinterlegten Modelllogik.

Das CAD-Modell besteht aus mehreren logischen Blöcken. In der CAD-seitigen Umsetzung sind hierbei wie in **Bild 5-2** dargestellt, der Schnitteplan (A1), die Parameter (A2), die Geometrie der Karosseriebodengruppe (A3) und die Fügeinhalte (A4) zusammen in der Eindokumenten-Technik dargestellt. Dieses Modell soll im Folgenden als die *parametrisch assoziative Konzept-Bodengruppe* (kurz: PaKoBG) bezeichnet werden. Die Geometrien des Komponentenbaukastens (A3) sowie die Geometrien des jeweiligen derivatspezifischen Karosseriegerippes (A3) werden in eigenen CAD-Dokumenten abgelegt und ermöglichen Bauraumuntersuchungen für

## 5. Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität

das derivatspezifische Package (vgl. **Bild 5-1**). Zusätzlich sind weitere CAD-Dokumente in Form von Adaptermodellen vorgesehen. Diese Modelle ermöglichen die Integration unterschiedlicher Fahrwerkskonzepte in das Modell der PaKoBG.

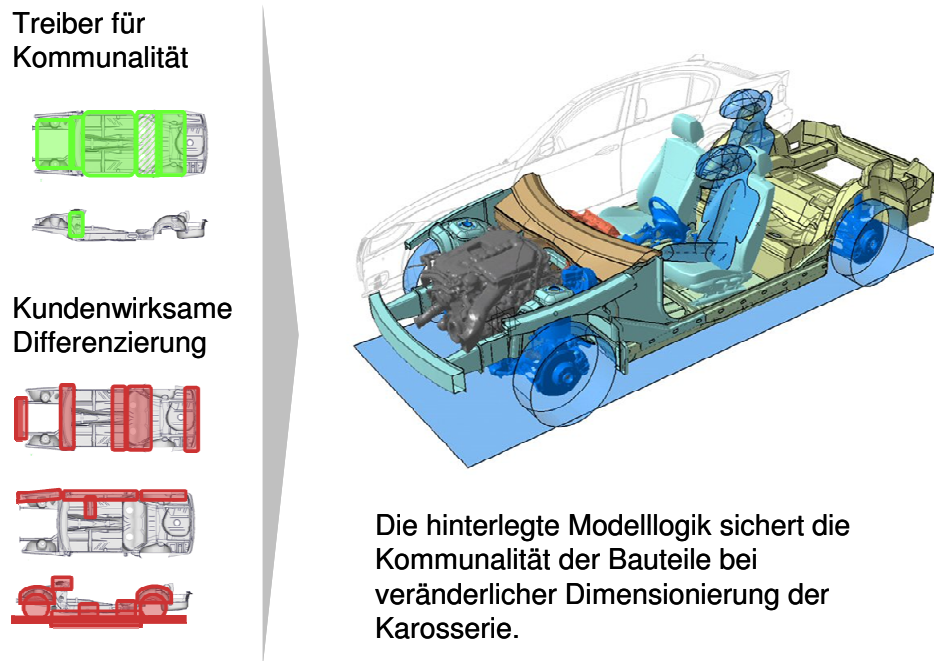


Bild 5-3: Übersicht Parametrisch assoziative Konzept-Karosseriebodengruppe.

Die Konstruktion der PaKoBG ist auf Basis der Karosseriestruktur der aktuellen BMW 3er Limousine (Bj. 2005) mit Standard- bzw. Allradantrieb vorgenommen worden. Die Anzahl der Bauteile im CAD-Modell der Bodengruppe entspricht der eines regulären Konzeptmengenrüsts (KMG) mit ca. 140 Bauteilen. So werden alle großflächigen Bauteile in der Bodengruppe bis auf Halter und Kleinteile abgebildet. Auf eine Darstellung von Sicken, Lochungen und Haltern in den Bauteilen wurde, wie bereits erwähnt, zu Gunsten einer weiten Veränderbarkeit der Proportionen des Gesamtmodells, einer hohen Update-Sicherheit und vertretbaren Update-Zeiten gezielt verzichtet. Alle Bauteile sind mit Flanschen versehen, um die notwendigen Fügeinhalte für die anschließende Bewertung des Karosseriebaus bereit halten zu können (siehe **Bild 5-3** rechts).

Die Positionierung der Insassen und die Berücksichtigung gesetzlicher Bauraumvorschriften ermöglicht die CAD-Applikation CAVA durch eine Darstellung der Insassen mit *ISO-Manikin* sowie mit einer Visualisierung der vorgeschriebenen Bodenfreiheiten, Böschungswinkel, Stoßfängerhöhen und Sichtwinkelgesetze (siehe **Bild 5-3** rechts).

Zur Definition des Bauraumbedarfs der einzelnen Komponenten im Package der Bodengruppe werden im Forschungsprojekt zur Reduzierung der Datenmengen, lediglich Hüllgeometrien der Baukastenkomponenten verwendet. Diese können in einem Produkt mit dem Modell der Bodengruppe zusammengespielt und in der Bodengruppe positioniert werden (siehe **Bild 5-3** rechts). In der Projektanwendung wird stattdessen der aktuelle Konstruktionsstand der entsprechenden Komponenten verwendet.

Für die Untersuchung der Package-Auswirkung verschiedener Fahrwerkskonzepte in der Bodengruppe können über *Fahrwerks-Adaptermodelle* die Schnittstellengeometrien verschiedener Fahrwerkssysteme in das Modell verlinkt werden.

Die Karosserieschnitte zur Steuerung der Bodengruppe sind in der CAD-Konstruktion in Form von *Sketchen* abgelegt. In diesen Sketchen befinden sich assoziative Schnittkonturen der 3D-



Bauteile, die über Parameter bemaßt sind. Der Aufbau der Sketche ist so konzipiert, dass durch das Editieren der Parameterwerte eine Vorschau auf die geometrischen Veränderungen der Bauteile dargestellt wird. Nach Verlassen des Sketches passen sich dann die 3D-Geometrien an die editierten Parameterwerte aus den Karosserieschnitten an. So wird für den nutzenden Konstrukteur in der bekannten Umgebung der GFP- und KP-Schnitte intuitiv ersichtlich, welche geometrischen Veränderungen an der Bodengruppe über Parameter vorgenommen werden können und welches Ergebnis die parametrischen Veränderungen bewirken.

Hat der Konstrukteur die notwendigen Veränderungen am Modell des zu bearbeitenden Derivats vorgenommen, kann in Catia V5 ein Makro angestoßen werden, das ermöglicht die Veränderungen zur Basis oder anderen Modellständen automatisch zu analysieren. Dieses Makro liest aus dem Modellbaum die Werte der expliziten Parameter aus, misst den Flächeninhalt der dargestellten Bauteile und misst die Länge der in den Flanschlagen abgelegten Schweißpunktlinien. Diese Werte werden durch das Skript in eine tabellarische Liste übertragen und mit den Werten des vorangegangenen Modellstands verglichen. So ist ein direkter Vergleich zwischen den Modellen verschiedener Ableitungsszenarien möglich und erlaubt eine Dokumentation der Arbeitsschritte sowie ein Wiederherstellen vorheriger Modellstände.

### 5.3.2 Gliederung der CAD-Umfänge im Einmodell PaKoBG

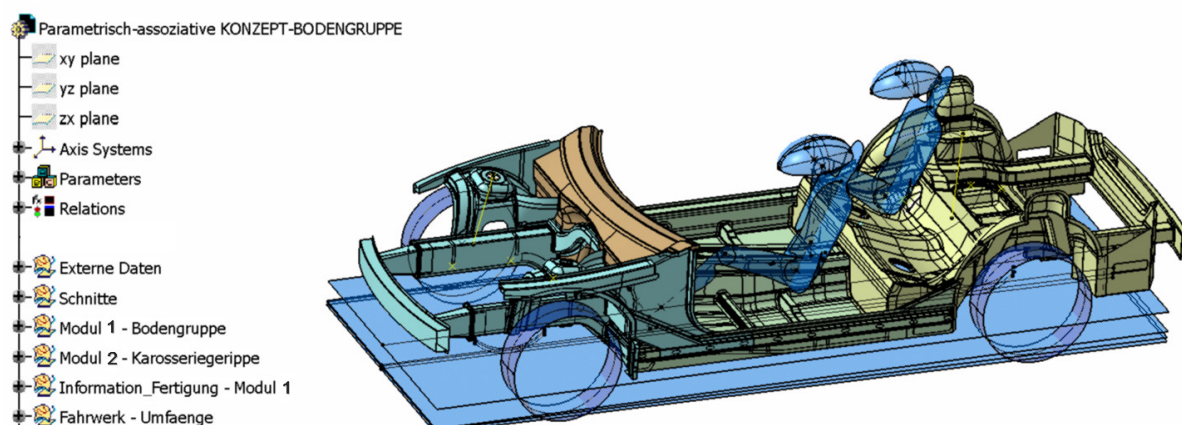


Bild 5-4: Erste Ebene im Modellbaum der PaKoBG

Wie in Absatz 3.5.3 als zielführend festgelegt, ist das Modell der Karosseriebodengruppe in einer Eindokumenten-Technik aufgebaut. Für einen allgemein nachvollziehbaren Aufbau wurde auf eine eindeutige Strukturierung im Modellbaum geachtet. Diese Strukturierung ist für alle beteiligten Konstrukteure absolut bindend und soll im folgenden Abschnitt erläutert werden (vgl. **Bild 5-4**).

In der ersten Ebene des Modellbaums erscheinen die für alle CAT.Parts üblichen *Planes* in xy-, yz- und zx-Richtung und die *Koordinatensysteme* (Axis Systems). Im Weiteren erscheinen auf erster Ebene die *Parameter* (Parameters). In der PaKoBG sind für eine bessere Übersichtlichkeit unter Parameters benutzerdefinierte Steuerparameter des Typs Length (Längenparameter) zusammengefasst abgelegt. Diese Parameter dienen zur Steuerung der Bauteildimensionierung sowie zur Festlegung der Raumlage bestimmter Baugruppen.

In *Relations* befinden sich Knowledge Features, die durch Formeln den Wert bestimmter Parameter festsetzen. Diese Formeln bestehen in den meisten Fällen aus einer mathematischen Verknüpfung weiterer Parameterwerte im Modell. Erst durch diese Vorgehensweise wird es möglich feste Beziehungen für die Dimensionierung von Bauteilen fest zu legen. Diese feste Verknüpfung von geometriebestimmenden Parametern erlaubt die Festlegung und Steuerung

von kommunalen, skalierten und differenzierten Bauteilen.

Im Geo.Set *Externe Daten* werden die von extern verlinkten Geometrien erstmals abgelegt bevor sie im Modell weiterverwendet werden. Die Externen Daten enthalten im Modell der PaKoBG z.B. die verlinkten Fahrwerksgeometrien aus dem Fahrwerksadapter.

Das Geo.Set *Schnitte* enthält die bereits beschriebenen Schnittebenen zur Steuerung des Modells. Unterteilt in weitere Geo.Sets enthält *Schnitte* eine Auswahl der Ebenen des Gesamtfahrzeug- und Karosserieplans. In jedem dieser Schnitte ist ein Sketch abgelegt in welchem der End-User, wie bereits erwähnt, über das Editieren von Parameterwerten die Bauteile des Modells geometrisch steuern kann.

*Modul 1 – Bodengruppe* und *Modul 2 - Karosseriegerippe* beinhalten die Konstruktion der Karosserieumfänge. Dies ist der größte Umfang in der PaKoBG. Aufgrund der großen Anzahl an einzelnen Sachnummern und der vielen logischen Verknüpfungen zwischen den Geometrie-elementen wurde im Vorfeld der Geometrieerstellung ein großer Aufwand betrieben, um eine konsistente Modelllogik zu schaffen, die für dritte Anwender gut nachvollziehbar ist. Der spezifische Aufbau dieser Modelllogik wird in **Kapitel 5.3.3** beschrieben.

Das Element *Information\_Fertigung* enthält geordnet nach der Reihenfolge der einzelnen Arbeitsstationen im Karosseriebau alle Bauteilflächen und die Schweißpunktlinien. Dieses Element ist die Basis für die automatisierte Auswertung durch die Auswerteroutine in Form eines Makros.

In *Fahrwerk - Umfänge* werden die Fahrwerksgeometrien aus dem jeweiligen Fahrwerksadapter mit der Parametrik des Modells verknüpft. So werden die Fahrwerksgeometrien durch parametergesteuerte Translationen im Modell positioniert und legen somit die geometrische Lage der Schnittstellen zwischen Karosserie und Fahrwerk fest. Zusätzlich werden für Bauraumuntersuchungen über den Adapter die Geometrien der fahrwerksspezifischen Reifenhüllgebirge in das Modell verlinkt.

### 5.3.3 Konstruktionslogik der Karosserieumfänge

Die im Rahmen des Forschungsprojekts Strukturvariabilität entwickelte Strukturierungslogik für die knapp 140 assoziativ über Relationen miteinander verknüpften Bauteile in der PaKoBG soll im folgenden Abschnitt erläutert werden.

Wie in **Bild 5-5** dargestellt, sind die Konstruktionsumfänge in Modul 1 und Modul 2 nach der in **Kapitel 2.3.3** beschriebenen Modulordnung untergliedert. In den Geo.Sets der jeweiligen Module sind die einzelnen Bauteile wieder in Geo.Sets eingeordnet.



Bild 5-5: Hierarchische Untergliederung des Modellbaums der PaKoBG in Eindokumenten-Technik.

Die einzelnen Konstruktionselemente für die Erstellung der Bauteile sind wiederum nach einer bindenden Logik in den Bauteil-Geo.Sets abgelegt. Diese Logik soll im Folgenden erläutert werden.

### Baumstruktur im Bauteil

Um ein geordnetes Arbeiten zu ermöglichen werden die Konstruktionselemente der einzelnen Sachnummern (Bauteile) nach den in der Automobilindustrie verwendeten *Konstruktions-Startmodelle* im Strukturbaum aufgebaut.

So befindet sich in jedem Bauteil der PaKoBG ein *Input-Geo.Set*, ein *Output-Geo.Set* sowie Geo.Sets für die *Konstruktion*, den *Beschnitt*, ein Geo.Set für die Fläche des fertigen Bauteils (*Fertigteilflächen*) und ein Geo.Set mit Informationen zur Fertigung des Bauteils (*Information Fertigung*). Siehe dazu **Bild 5-6**.

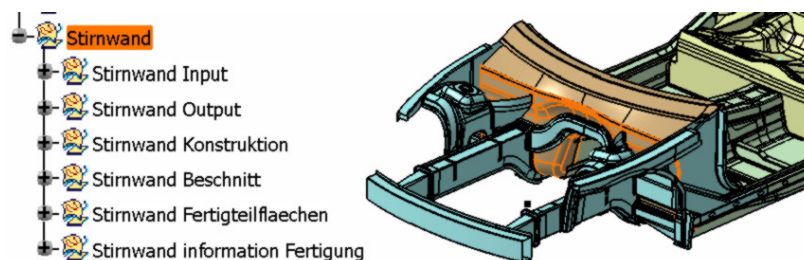


Bild 5-6: Bauteil-Logik am Beispiel Stirnwand

Der Inhalt und der Aufbau der aufgezeigten Strukturierung werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

#### a.) Assoziative Verlinkung über Input- und Output-Sets

Im Geometrieerstellungsprozess werden für die Erstellung benachbarter Bauteile einzelne Geometrien und Flächen aus den angrenzenden Bauteilen aufgegriffen und weiter verwendet. Eine assoziative Konstruktion erlaubt hierbei, diese aufgegriffenen Flächen assoziativ zwischen den Bauteilen zu transferieren. So können Änderungen an den Basisflächen eines Bauteils in einem Update-Vorgang automatisch an die darauf aufbauenden Bauteile übertragen werden. Diese Assoziativität im Modell Aufbau ist die Grundvoraussetzung für die im Rahmen dieser Arbeit angewandte Konstruktionslogik.

Im Konstruktionsmodell einer gesamten Karosseriebodengruppe summiert sich durch dieses Vorgehen eine immense Anzahl an Flächen, die zwischen den Bauteilen transferiert werden. Dieser Informationsfluss zwischen den Bauteilen muss daher eindeutig kanalisiert werden, um eine Kontrollierbarkeit der assoziativen Verkettungen sicher zu stellen.

In der vorliegenden Konstruktionslogik werden die auszutauschenden Geometrien über Links zwischen den Bauteilen transferiert und in entsprechenden Schnittstellenordnern, den Input- und Output-Sets abgelegt (siehe **Bild 5-6**). Durch die Verwendung dieser Input- und Output-Sets als Schnittstellenordner wird erreicht, das Modell in einer übersichtlichen Weise gesamthaft assoziativ aufzubauen. Jedes Bauteil stellt somit eine geschlossene Einheit dar, das nur über definierte Schnittstellen mit der Peripherie kommuniziert. Die Auswirkungen von Konstruktionsänderungen in derart großen und komplexen Modellen können ausschließlich durch solche Ordnungsmaßnahmen überblickt und kontrolliert werden.

## b.) Konstruktion und Beschnitt

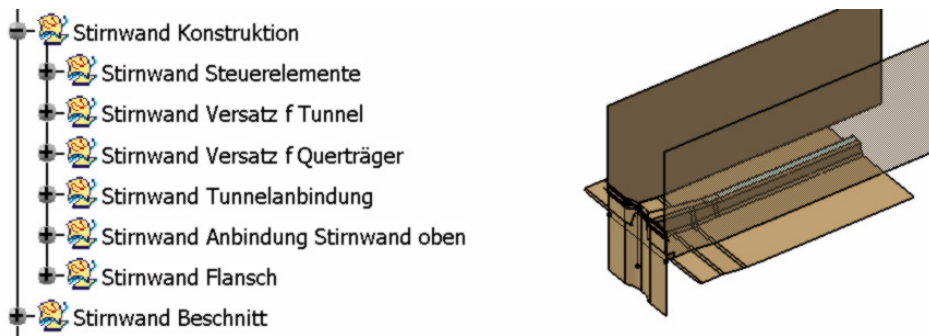


Bild 5-7: Bauteilkonstruktion.

Für eine Sicherstellung der Übersichtlichkeit sind die Konstruktionsoperationen im Strukturbaum wiederum in fest strukturierte Sets untergliedert (siehe **Bild 5-7**).

An erster Stelle werden die *Steuerelemente* des Bauteils abgelegt. Als Steuerelemente werden elementare Konstruktionselemente wie Points, Lines, Planes und Sketche verstanden, die direkt die Dimensionierung des Bauteils bestimmen und die Lage des Bauteils im Fahrzeugkoordinatennetz steuern. Diese Elemente bilden die Grundlage für die parametrische Steuerbarkeit in dieser Konstruktionsmethodik. Die verschiedenen Lösungen zur Realisierung der Steuerungslogik in den Modellen werden in **Kapitel 5.3.4** und **5.3.5** detailliert erläutert.

An nächster Stelle folgen die Flächenoperationen für die Erstellung der einzelnen Geometrien des Bauteiles wie Basisflächen, Detaillierungen, Abstellungen, Flansche usw. Nach den jeweiligen Konstruktionsabschnitten gegliedert, werden diese Flächenoperationen im Strukturbaum in Geo.Sets mit einer entsprechenden Benennung abgelegt (siehe **Bild 5-7**). Ist ein Bauteil bis auf seinen Beschnitt auskonstruiert, so ist es als Joint unter dem Namen „Bauteilname“-*Basisflaeche* abzulegen. Diese Basisfläche kann dann von anderen Bauteilen wieder als Input-Fläche verwendet werden.

Im *Beschnitt* werden die bauteilbegrenzenden Flächen erstellt, miteinander verrundet und vertrimmt sowie die Geometrien für Lochoperationen erstellt (siehe **Bild 5-8**; blau: Bauteilfläche; braun: Beschnittflächen). Die Basisfläche des Bauteils wird mit den Beschnittflächen verschnitten und es ergibt sich die fertige Bauteilfläche.

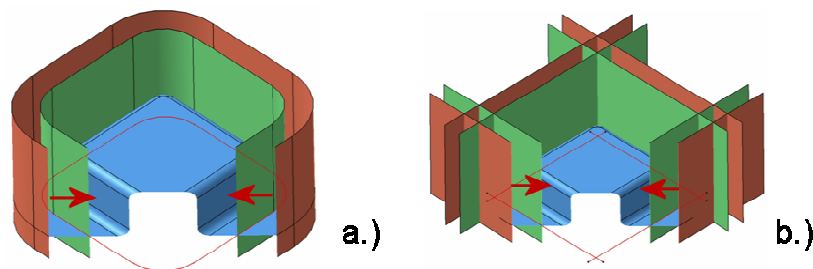


Bild 5-8: Schema der Konstruktion assoziativer Beschnittflächen und Schweißpunktlinien

a.) umlaufende Beschnittflächen und Schweißpunktlinien

b.) getrennte Beschnittflächen und Schweißpunktlinien für differenzierte Bauteiltrennungen [58]

## c.) Fertigteil\_Flächen und Information\_Fertigung

Das Geo.Set *Fertigteil\_Flaechen* enthält nur die fertige Bauteilfläche. Bei rechts-links-symmetrischen Bauteilen wird das Bauteil an der xz-Ebene gespiegelt und ebenfalls wieder in *Fertigteil\_Flaechen* abgelegt. Diese Ordnungsinstanz im Modell ist unerlässlich für nachfolgen-

de Prozesspartner sowie die an das Modell angeschlossenen Routinen.

Im Geo.Set *Information\_Fertigung* sind die *Schweißpunktlinien* (SPL) abgelegt. Diese werden im späteren Verlauf der Derivateleitungen für die Bewertung der Karosseriebauumfänge benötigt. Konstruktiv entstehen die Schweißpunktlinien durch eine Parallelverschiebung der assoziativen Beschnittflächen in die Mitte der Flanschflächen und eine anschließende Verschneidung der beiden Flächen miteinander. (Siehe **Bild 5-8**, grün: verschobene Beschnittflächen zur Erzeugung der Schweißpunktlinien). Durch dieses Vorgehen wird sicher gestellt, dass sich die Schweißpunktlinien assoziativ zu Veränderungen am Modell verhalten.

### Geometrierstellungsprozess

Mit dem Einsatz einer parametrisch assoziativen Eindokumenten-Technik in frühen Entwicklungsphasen haben sich die Anforderungen an das Qualifikationsprofil der Konzeptkonstrukteure verändert. Siehe auch Abschnitt 3.5. Neben fundierten Kenntnissen in parametrisch assoziativer Konstruktion wird von den Konstrukteuren ein Selbstverständnis als Bauteilprogrammierer erwartet. So ist in Anlehnung an PAHL/BEITZ [109] und BRILL [17] vor dem eigentlichen Geometrierstellungsprozess vom Konstrukteur ein objektorientierter Entwurfsprozess zur Generierung einer Bauteillogik zu durchlaufen. Diese Bauteillogik basiert auf den Ergebnissen einer Konzeptions- und Analysephase in der nach BRILL [17] die Funktionalität des Bauteils festgelegt wird. Erst nach diesem vorgelagerten Strukturierungsprozess wird mit dem eigentlichen Geometrierstellungsprozess begonnen.

*Im speziellen Fall der PaKoBG müssen in der Analyse- und Konzeptionsphase nicht nur die statischen aus dem Bauraum getriebenen Maßketten der Bauteilgeometrien betrachtet werden. In Bezug auf die skalierbare Produktfamilie ist vor allem auf die skalierbaren Fahrzeugmaße und deren Auswirkungen auf die einzelnen Bauteilmaße zu achten.*

Sind am Geometrierstellungsprozess mehrere Konstrukteure beteiligt, so ist es analog zu den Ausführungen in Abschnitt 3.4.2 zielführend, das Eindokument der Bodengruppe in weitere verlinkte Eindokumente zu untergliedern. Als sinnvolle Modellgrenzen haben sich hierbei die Modulgrenzen der Karosserie erwiesen.

Zusammen mit den maßgebundenen Anforderungen, die sich aus der Kommunalität ergeben, gilt es die aus den Ableitungsszenarien resultierende Skalierung und Differenzierung in der Konstruktion der Bauteilgeometrien sinnvoll umzusetzen. Die dafür notwendigen Steuerelemente, Parameter und Relationen zwischen den Geometrieelementen, die dem Konstrukteur dabei zu Verfügung stehen, werden im folgenden Kapitel erläutert.

#### 5.3.4 Modellsteuerung - Grundmechanismen

*Erst eine definierte Steuerung von Kommunalität, Skalierungen und Differenzierungen in den Bauteilen der Bodengruppe gestattet eine Ableitung von Derivaten im Sinne einer skalierbaren Plattform allein über die Veränderung von Parameterwerten.*

Zur Erläuterung werden in diesem Abschnitt zuerst allgemein die Grundmechanismen der Steuerelemente, Parameter und Referenzierungen dargestellt und anschließend die Anwendung dieser Mechanismen in der PaKoBG für die Ableitung von Derivaten beleuchtet.

#### Steuerelemente

Am Anfang jedes Konstruktionsabschnittes stehen *elementare* Konstruktionselemente wie Punkte, Ebenen, Linien und Sketche, auf denen die folgende Konstruktion assoziativ aufbaut.

Durch die Veränderung der *Parameter* dieser elementaren Konstruktionselemente kann die gesamte folgende Konstruktion in ihrem Erscheinungsbild verändert werden. Kontrollierte Veränderungen erfordern jedoch, dass die auf diesen Elementen aufbauende Konstruktion entsprechend der Konstruktionsabsicht fest durch *Referenzierungen* der einzelnen Konstruktionselemente zueinander verknüpft ist.

Im Modell der PaKoBG werden einige dieser elementaren Konstruktionselemente als *Steuerelement* hervorgehoben und ihre *Parameter* dienen zur Steuerung der Geometrien im Modell (vgl. 5.3.3 b.) Konstruktion und Beschnitt).

### Parameter

Parameter sind im Allgemeinen in die unterschiedlichen Typen REAL, INTEGER, BOOLEAN, STRING, LENGTH, MASS und TIME untergliedert [14]. Zur Steuerung von geometrischen Veränderungen im Modell der PaKoBG werden ausschließlich die Parameter des Typs LENGTH (*Länge*) verwendet. Die Parameter dieses Typs steuern dabei als *Koordinatenparameter* die räumliche Lage der elementaren Konstruktionselemente oder als *Dimensionierungsparameter* die räumliche Ausdehnung von Konstruktionselementen (z.B. die Länge einer Linie).

### Referenzierungen

Wie zuvor beschrieben basieren in der PaKoBG große Konstruktionsabschnitte wie Bauteile bzw. ganze Baugruppen auf wenigen Steuerelementen. Die Steuerung von Kommunalität und Skalierung erfolgt dabei durch eine unterschiedliche Referenzierung der Konstruktionselemente dieser Bauteile auf die Steuerelemente.

*Kommunale* Bauteile und Baugruppen referenzieren auf immer nur *ein* Steuerelement. Werden im Rahmen einer Ableitung die Koordinatenparameter des Steuerelements verändert, so wird die gesamte Konstruktion des Bauteils translatorisch im Raum verschoben ohne eine Formänderung zu erfahren. Das Bauteil bleibt im Sinne des Mengengerüsts kommunal.

Bauteile in den *Skalieranteilen* zwischen kommunalen Bauteilen (vgl. 2.4.5) haben immer mindestens zwei Steuerelemente auf die sie referenzieren. Werden die Koordinatenparameter einer der Referenzen verändert, passen sich die Bauteile im Skalierungsanteil an die geänderten geometrischen Randbedingungen der benachbarten Bauteile an. Die in der Konstruktion hinterlegte Modelllogik bewirkt dabei, dass sich diese Bauteile derart geometrisch ändern (gestreckten, stauchen, unterschiedlich beschnitten werden, usw.), dass sie der festgelegten Kommunalitätslogik der Produktfamilie genügen (vgl. **Bild 5-3**).

Die Darstellung unterschiedlicher Kommunalitätsansätze kann in diesem Modellaufbau durch das Verändern der Referenzierung von Steuerelementen durchgespielt werden. So können einzelne Bauteile, Baugruppen oder ganze Module über ihre Referenzierungen wahlweise zueinander kommunal geschaltet oder zueinander differenziert werden. In der Praxis sind jedoch durch das Hinzufügen zusätzlicher Differenzierungsmöglichkeiten meist auch zusätzliche Änderungen am assoziativen Aufbau oder den Geometrien selbst zu tätigen, um das gewünschte Modellverhalten zu erzielen.

*Diese Referenzierungen bilden das Grundgerüst für die Steuerung des Modells der PaKoBG. Erst eine derart über Referenzierungen fest strukturierte Eindokumenten-Konstruktion kann über Parameter gesteuert werden und stabil Kommunalität, Skalierung und Differenzierung für die Ableitung von Derivaten abbilden.*

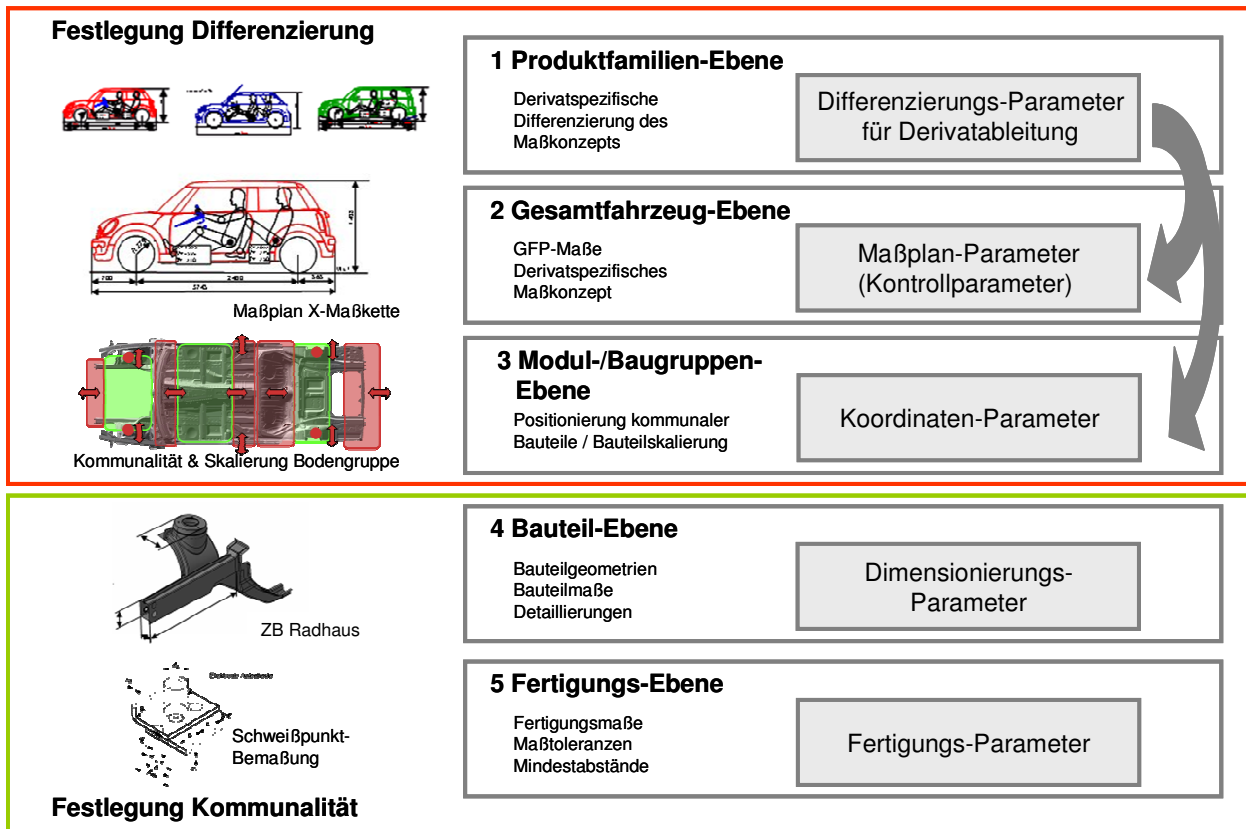
### Logik der Modellsteuerung

In der Analyse- und Konzepterstellungsphase der Modellerstellung ist zur Identifizierung der



konzeptrelevanten *Steuerparameter* nach einem Top-Down-Verfahren vorzugehen. Auf Basis der für alle Derivate festgelegten Karosseriepläne und auf Basis der aktuell festgelegten Kommunalitätslogik der Produktfamilie werden die für die Derivateableitung relevanten Karosseriemaße identifiziert. Diese Karosseriemaße bilden die Basis für die Implementierung der Steuerparameter in das Konstruktionsmodell. Um ein definiertes Modellverhalten zu erreichen, ist hierbei eine Hierarchisierung der Steuerparameter im Modell vorzunehmen (vgl. **Tabelle 5-1**).

Tabelle 5-1: Hierarchie der Steuerparameter in der PaKoBG.



Analog zu den Ausführungen zur Hierarchisierung von Fahrzeugmaßen in Kapitel 2.4 (vgl. **Tabelle 2-8**) ist in der PaKoBG eine Hierarchisierung der Steuerparameter vorgenommen worden. Siehe hierzu **Tabelle 5-1**. Hierbei dienen die Parameter auf der Produktfamilien-Ebene zur Steuerung der ihnen untergeordneten Parameter auf der Gesamtfahrzeug-Ebene sowie zur Steuerung nochmals untergeordneten Parameter auf Modul- und Baugruppen-Ebene. Die Differenzierung dieser Koordinatenparameter bewirkt die Festlegung der *Skalierung* der Derivate in der Produktfamilie.

Die Parameter auf Bauteil- und Fertigungsebene dienen zur Steuerung der *kommunalen* Umfänge. Diese Parameter bleiben bei der Derivateableitung von den Differenzierungs-Parametern unberührt. So kann im Sinne der skalierbaren Plattform eine Veränderung an der Kernplattform unabhängig von einer Derivateableitung, d.h. einer Veränderung des Skalierungsanteils vorgenommen werden.

*Durch die hierarchische Anordnung der Steuerparameter und die Referenzierung der Steuerelemente entsprechend der Kommunalitätslogik ergibt sich somit eine klar definierte Steuerung von Kommunalität, Skalierung und Differenzierung für die einzelnen Bauteile, Baugruppen und Module im Modell.*

### 5.3.5 Modellsteuerung – Anwendungsvarianten

#### Steuerung mit übergeordneten Parametern

In der Basisversion der Modellsteuerung werden die relevanten Parameter der Steuerelemente in der obersten Ebene des Konstruktionsbaums unter Parameter abgelegt, um dort einfacher aufgefunden werden zu können. Für eine weitere Übersichtlichkeit, können die Parameter geordnet nach Modulen angeordnet werden.

Diese Modellsteuerung zeichnet sich durch ein stabiles Modellverhalten aus und erweist sich als vorteilig bei einer geringen Anzahl von Steuerparametern. Mit einer steigenden Anzahl von Parametern ist eine gute Kenntnis des Modells Voraussetzung, da sich das Modellverhalten intuitiv ohne Einarbeitungszeit nur bedingt abschätzen lässt.

#### Steuerung mit Fahrwerksadapter

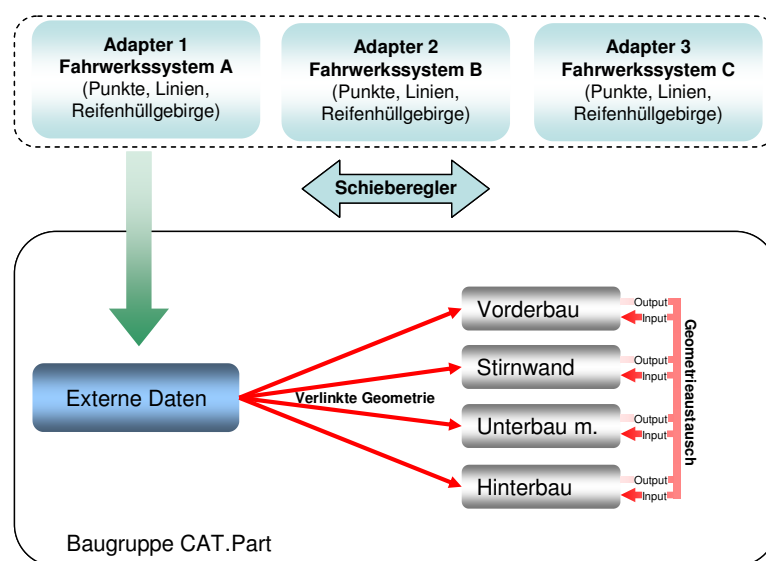


Bild 5-9: Modellsteuerung mit Fahrwerksadapter [138]

Diese Modellsteuerung ist für sehr frühe Entwicklungsphasen mit Konzeptfindungscharakter vorgesehen. Hier können in einem gering detaillierten Modell der Bodengruppe die topologischen Auswirkungen verschiedener Fahrwerkssysteme auf die Tragstrukturen und Bauräume analysiert werden.

Die Fahrwerksgeometrien von Vorderachse und Hinterachse sind im Fahrwerksadapter in ihrer Darstellung idealisiert. Hierbei nur werden lediglich Verschraubungspunkte des Achsträgers, der Dämpfer und Federn sowie die Radmittelpunkte als Punkt- und Liniengeometrien dargestellt. Zusätzlich sind die Radhüllgrenzflächen enthalten. Für eine einfache Austauschbarkeit bestehen die Fahrwerksadapter aus unterschiedlichen CAT.Parts mit identischen UUIDs (Unique Universal Identifier = Dateikennung). Je nach gewünschtem Zustand können die Adaptermodelle mit gleichen UUIDs nach HASLAUER [47] wie ein Schieberegler verschoben werden. So können die Fahrwerksadapter untereinander beliebig über das Linkmanagement ausgetauscht werden. Siehe hierzu **Bild 5-9**.

Die Geometrien der Fahrwerksadapters werden so in das Modell der PaKoBG verlinkt und entsprechend der aktuellen Parameterwerte für Spurweite und Radstand im Modell positioniert. Als Resultat der Modellsteuerung mit einem Fahrwerksadapter passen sich die Geometrien der Tragstrukturen in der Bodengruppe an die jeweiligen Fahrwerksprämissen an und erlauben somit Konzeptanalysen.



## Steuerung über Schnittepläne

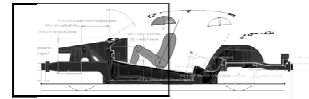
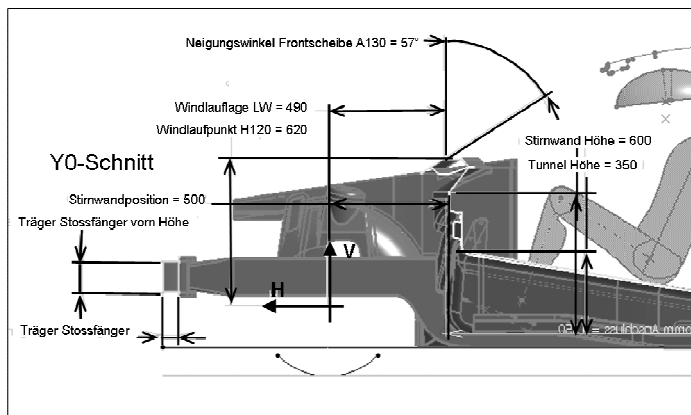


Bild 5-10: Assoziative und über Parameter steuerbare Schnittkonturen am Beispiel y0-Schnitt [138].

Um die Steuerung des Modells auch einem weiteren Benutzerkreis intuitiv zu ermöglichen, sind im Modell der PaKoBG die Steuerparameter graphisch in Karosserieschnitten dargestellt. Die Schnitte sind wie in **Bild 5-10** gezeigt, in Sketchen abgebildet und liegen in den Schnittebenen des Gesamtfahrzeugplans bzw. des Karosserieplans. In diesen Sketchen befinden sich die assoziativen Schnittkonturen der 3D-Bauteile und zusätzliche Konturen zur Steuerung des Modells. Diese *Steuerkonturen* sind mit *Maßlinien* belegt (Constraints). Durch die manuelle Eingabe von *Parameterwerten* in den Maßlinien ändert sich die Steuerkontur im Sketch und gibt somit eine Vorschau auf die geometrischen Veränderungen. Wird nach vollständiger Eingabe der Parameterwerte der Sketcher verlassen, so werden über eine Verlinkung durch *KnowledgeWare* die Steuerparameter an die Steuerelemente im Modell übertragen und die 3D-Geometrien der Karosseriebauteile passen sich assoziativ an die zuvor geplanten Änderungen an. Zur Steuerung des Modells werden anforderungsbedingt zehn bis 15 Schnittebenen aus dem KP und GFP herangezogen.

## Steuerung der Derivate über einen Adapter mit Steuerparametern

Für die Ermittlung einer geeigneten Ableitungsstrategie und eines optimalen Kommunalitätsansatzes für alle Derivate der Produktfamilie hat sich in der aktuellen Projektanwendung die Verwendung eines Adaptermodells mit *ableitungsrelevanten Parametern* als zielführend herausgestellt. Hierbei werden auf der Maßziel-Ebene die ableitungsrelevanten Parameter aller Derivate aus den Maßzielvorgaben der Gesamtfahrzeug-Ebene extrahiert. Diese Werte werden um karosseriespezifische Kommunalitäts- und Ableitungsparameter ergänzt und als Karosseriemaßziele tabellarisch in einem *Ableitungsmaßschema* zusammengefasst, siehe **Bild 5-11**. Beim Modellaufbau in der Arbeits-Ebene werden das Modell der Bodengruppe und das Adaptermodell parallel entwickelt.

In dem *Bodengruppenmodell* werden auf Basis der Maßvorgaben des Produktfamilien-Leadfahrzeugs die Geometrien der Bodengruppe entwickelt und die Kommunalitätslogik der Produktfamilie in das Modell integriert. Für die Ermittlung der Bauraumsituation werden hierzu in konventioneller Weise die Vorgaben aus den Karosserieplänen, aktuelle Konstruktionsstände der Komponenten sowie Komponenten von Vorgängerfahrzeugen verwendet. Je nach Anzahl der operativ an der Konstruktion beteiligten Konstrukteure wird das Bodengruppenmodell, wie in **Kapitel 3** beschrieben, in mehrere assoziativ verlinkte Teilmodelle unterteilt.

Parallel dazu wird das *Adaptermodell* aus den Maßvorgaben des Ableitungsschemas entwickelt und enthält dabei keinerlei konstruktive Geometrien. Es enthält lediglich die Steuerparameter, die für die Ableitung der Derivate herangezogen werden. Hierbei wird für jedes Derivat ein eigenes Adaptermodell auf Basis der Daten aus dem Ableitungsschema erstellt. Für eine Aus-

## 5. Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität

tauschbarkeit der Adapter nach dem zuvor genannten „Schieberegler-Prinzip“ erhalten alle Adaptermodelle eine gleiche UUID.

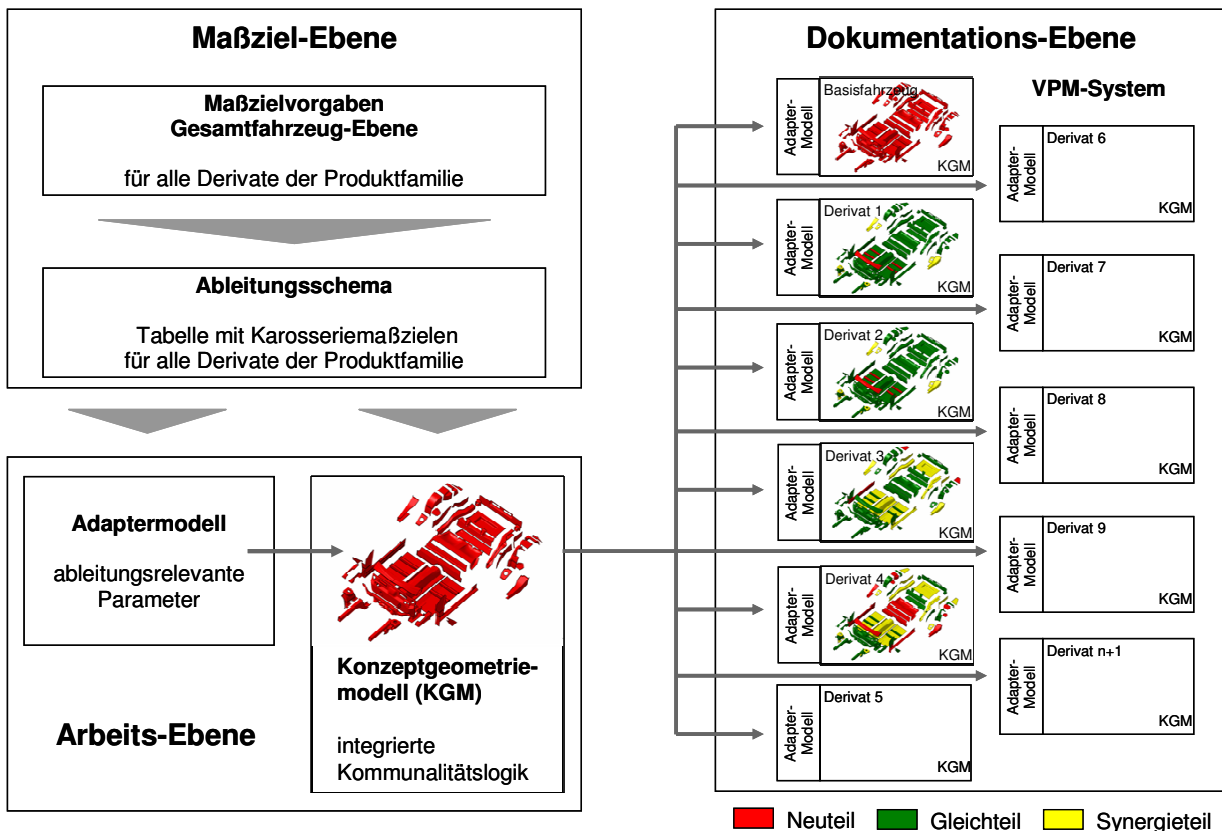


Bild 5-11: Modellerstellung und Dokumentation mit KMG und Adaptermodell mit Steuerparametern

Haben das Ableitungsmaßschema und das Bodengruppenmodell mit Adapter in der Entwicklung einen konsolidierten Stand erreicht, werden die Bodengruppenderivate der gesamten Produktfamilie ausgeleitet. Für die operative Derivatausleitung wird das Bodengruppenmodell entsprechend der Anzahl der geplanten Derivate kopiert und mit den jeweiligen derivatspezifischen Adaptermodellen über die Links gekoppelt. Die Bodengruppenmodelle passen sich dann in den notwendigen Up-Date-Vorgängen an die spezifischen Maße der Derivate an. Der Vorgang zur Ableitung einer großen Anzahl von Derivate kann durch diese Methodik mit einem vergleichsweise geringen Aufwand durchgeführt werden und ermöglicht eine konsistente Modellhaltung für alle Derivate der Produktfamilie. Die erstellten Derivatmodelle werden somit auf der Dokumentationsebene im VPM-System für alle Projektbeteiligten veröffentlicht abgelegt und dienen fortan als Referenz für die derivatspezifischen Package-, Bauraum und Technik-Konvergenz-Untersuchungen, siehe **Bild 5-11**.

Durch diese Methodik können bereits in der frühen Vorleistungsphase die Bauraumuntersuchungen für alle Derivate der skalierbaren Plattform durchgeführt und in den Entwicklungsprozess miteinbezogen werden. Zu zeitlich getakteten Synchronisationspunkten wird die Update-Fähigkeit des Modells wieder hergestellt und alle Derivate entsprechend des aktuellen Entwicklungsfortschritts von Neuem ausgeleitet sowie den beteiligten Fachabteilungen zur Verfügung gestellt. Diese Methodik wird im Entwicklungsfortschritt solange fortgesetzt bis der Kommunalitätsansatz für die skalierbare Plattform konsolidiert ist und die fortgeschrittene Detaillierung in der Konstruktion einen konventionellen Modell Aufbau erfordert.

*Diese CAD-Methodik begünstigt die Auslegung einer gesamten Produktfamilie mit dem Fokus auf einen optimalen Kommunalitätsansatz für alle Derivate trotz einer großen Spreizung der derivatspezifischen Maßpläne.*

## 5.4 Baustein B – Auswerteroutine CAD-Modell

Wie zu Beginn in **Kapitel 5.1** beschrieben, basiert die wirtschaftliche Bewertung der Derivatableitungsszenarien auf einer Bewertung der Presswerksumfänge und auf einer Bewertung des Karosseriebaus. Für die Bewertung dieser Produktionsumfänge werden unter anderem

- die Kommunalität der einzelnen Bauteile,
- die Flächen der umzuformenden Bauteile und
- die Anzahl der im Karosseriebau zu setzenden Schweißpunkte

herangezogen.

Die an die Konstruktion der PaKoBG angeschlossene, automatische Auswerteroutine in Form eines VBS-Makros, erlaubt in diesem Zusammenhang die mit dem Modell der PaKoBG geometrisch erstellten Ableitungsszenarien auszuwerten und miteinander zu vergleichen. Die aus dem Modell ausgelesenen Daten werden dabei in einem geeigneten Tabellenprogramm in einer vorbestimmten Auflistung abgelegt, die eine Weiterverarbeitung der Daten durch weitere Routinen begünstigt. Die in das Skript implementierte Auswerteroutine ist in **Tabelle 5-2** gezeigt.

Für die Auswerteroutine wurden im Modell der PaKoBG zusätzlich konstruktive Maßnahmen getroffen. Um ein Auslesen des Modells durch die Routine zu ermöglichen, wurden alle Bauteilflächen und die zusammenbauspezifischen Schweißpunktlinien unter einer eigenen Ordnerstruktur (*Information\_Fertigung* vgl. **5.3.2**) über Links abgelegt und entsprechend der Fügefolgen angeordnet (vgl. **2.5.2**). Der detaillierte Aufbau der Auswerteroutine ist anhand von **Bild-Anhang 1** zu ersehen.

Tabelle 5-2: Auswerteroutinen in Baustein B der Methodik für Strukturvariabilität

Parameterwerte	Bauteilflächen	Schweißpunktlinien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslesen der Parameterwerte im Modell.</li> <li>• Vergleich der Parameterwerte mit vorherigem Modellstand.</li> <li>• Ausgabe von „kommunal“ oder „spezifisch“.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Messen des Flächeninhalts der Bauteile im Modell.</li> <li>• Vergleich des Flächeninhalts mit vorherigem Modellstand.</li> <li>• Ausgabe von „kommunal“ oder „spezifisch“ je Bauteil.</li> <li>• Summation der Bauteilanzahl pro Karosseriemodul und für die gesamte Bodengruppe.</li> <li>• Summation der Anzahl kommunaler Bauteile pro Modul und für die gesamte Bodengruppe.</li> <li>• Berechnung der Kommunalitätsverteilung in Prozent [%] pro Modul und für die gesamte Bodengruppe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Messen der Länge der Schweißpunktlinien im Modell.</li> <li>• Vergleich der SPL-Längen mit vorherigem Modellstand.</li> <li>• Ausgabe von „kommunal“ oder „spezifisch“.</li> <li>• Summation der SPL-Längen pro Karosseriemodul und für die gesamte Bodengruppe.</li> <li>• Berechnung der Schweißpunktanzahl für vers. Schweißpunktabstände pro Modul und für die gesamte Bodengruppe.</li> </ul>

Dieses Vorgehen gestattet zum Einen durch das Auslesen der Steuerparameter eine Dokumentation verschiedener Modellstände und schafft durch die Aufbereitung der Flächendaten der Bauteile und die Längenmaße der Schweißpunktlinien die notwendigen Eingangsdaten für die anschließende wirtschaftliche Bewertung der Ableitungsszenarien.

## 5.5 Baustein C – Kostenbewertung

Die zur Berechnung der Kostenstrukturen notwendigen betriebswirtschaftlichen Grundlagen und Prämissen werden in diesem Abschnitt detailliert vorgestellt und bilden die Grundlage für die Validierung der Bewertungsmethode in **Kapitel 6**. Die für die Validierung in Kapitel 6 verwendeten Kostenwerte basieren dabei auf einer Skalierung der Kostenstrukturen von Referenzfahrzeugen.

Die Kostenbewertung der Derivateableitungsszenarien stützt sich, wie bereits in Kapitel **2.5** aufgezeigt, auf eine Betrachtung der produktgebundenen Investitions- und Herstellkosten der Blechumformung (BU) und des Karosseriebaus (KB). Um eine direkte Vergleichbarkeit verschiedener Ableitungsszenarien zu erreichen, werden diese Kostenpunkte in einen derivatspezifischen Kapitalwert umgerechnet.

*Die ermittelten Kosten sollen nicht als Kostenvorgaben für die Verwendung in der Strategie- und frühen Vorleistungsphase verstanden werden, sondern sollen Tendenzen aufzeigen und werden daher im Endergebnis nicht als Summenwerte [€] sondern immer in Prozent [%] angegeben.*

### 5.5.1 Prämissen Kostenbewertung

#### Investitionskosten

Für die Kostenvergleichsbewertung werden die produktbezogenen Investitionskosten herangezogen. Wie in den Prämissen unter „Werkekonstellation“ aufgeführt (vgl. **Kapitel 5.2**), sind die Werksstrukturen als bereits gegeben zu verstehen. Strukturinvestitionskosten werden daher nicht betrachtet. Dies ist begründet auf der in **Kapitel 2.2.1** beschriebenen Sättigung der Märkte, die trotz der Steigerung an Fahrzeugtypen keine Sprünge im Absatzvolumen zulässt. Die Produktion der zusätzlichen Derivate wird daher in einer Annahme in den bereits vorhandenen Werksstrukturen abgefahren. Die im Rahmen der Bewertungsmethodik analysierten Investitionskosten sind in **Tabelle 5-3** zusammengefasst.

Tabelle 5-3: Betrachtungsumfang Investitionskosten

Produkt-Investitionskosten		Struktur-Investitionskosten	
Blechumformung	Karosseriebau	In der Bewertung nicht betrachtet.	
Blechumformung	Karosseriebau	Blechumformung	Karosseriebau
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Platinenschnitt-Werkzeuge</li> <li>• Presswerkzeuge</li> <li>• Pressenmechanisierung</li> <li>• Prüfmittel</li> <li>• Kaufteilwerkzeuge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roboteranlagen</li> <li>• Robotersteuerung</li> <li>• Technisches Equipment (Schweißzangen, Greifer, Polfräser, Werkzeugwechsel, usw.)</li> <li>• Einlegestationen</li> <li>• Bauteilaufnahmen</li> <li>• Sicherheitseinrichtungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressenhallen</li> <li>• Pressenkeller mit Schrottentsorgung</li> <li>• Coilanlagen</li> <li>• Pressenstrassen</li> <li>• Werkzeugwechsel</li> <li>• Werkzeuglager</li> <li>• Allgemeine Werkseinrichtungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karosseriebauhallen</li> <li>• Logistikeinrichtungen für Teiletransport</li> <li>• Teilelager</li> <li>• Allgemeine Werkseinrichtungen</li> </ul>

Die betrachteten *Produkt-Investitionskosten* werden im Folgenden nur noch als Investitionskosten bezeichnet.

## Herstellkosten

Die Berechnung der Herstellkosten erfolgt ausschließlich anhand der mengenabhängigen (variablen) Herstellkosten. Das heißt im Sinne der Kostenträgerrechnung erfolgt nach LIST eine Teilkostenrechnung [86]. Periodenabhängige (fixe) Kosten einer Vollkostenrechnung, die gemäß dem Verursacherprinzip zusätzlich den Kostenträgern (Bauteilen) zugeordnet werden müssten [86], werden von der Betrachtung ausgeschlossen. In einer Annahme würden die Fixkosten allen Bauteilen zu gleichen Anteilen zugeordnet. Diese Vereinfachung ist zulässig, da bei einer Gleichverteilung der Fixkosten auf alle Bauteile diese durch den abschließenden Kostenvergleich zwischen Basis und Derivat wieder gekürzt würden.

Der mengenabhängige Verlauf der Herstellkosten ist als linear anzunehmen. Die Herstellkosten werden daher im Folgenden nach MÖBMER als proportionale Herstellkosten [95] bezeichnet. Die proportionalen Herstellkosten ( $HK_{prop}$ ) untergliedern sich in proportionale Materialkosten ( $MK_{prop}$ ) und proportionale Fertigungskosten ( $FK_{prop}$ ) (siehe Formel (5.1)).

$$HK_{prop} = MK_{prop} + FK_{prop} \quad (5.1)$$

Die im Bewertungssystem verwendeten proportionalen Herstellkosten basieren auf den Istkosten und Normalkosten aktueller Fahrzeugprojekte. Aufgrund der oben gesetzten Prämissen können nur Bauteile mit einer aufgeschlüsselten Kostenstruktur betrachtet werden. Für die Kaufteile im Bewertungsumfang müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden.

Die im Rahmen der Arbeit betrachteten *proportionalen Herstellkosten* werden im Folgenden nur noch als Herstellkosten bezeichnet.

## Referenzfahrzeug

Das für die Kostenbewertung herangezogene Referenzfahrzeug muss in seiner Grundarchitektur mit der zu bewertenden Produktfamilie übereinstimmen und die Trägertopologien sollten sich weitgehend ähneln. Im Idealfall haben die Derivate der zu bewertenden Produktfamilie und die Referenz die gleiche Teileanzahl in der Bodengruppe. Für alle Bauteile der zu bewertenden Derivate, die im Referenzfahrzeug nicht oder in zu ihr stark veränderter Form verwendet werden, muss entweder ein entsprechendes Referenzbauteil aus einem anderen Fahrzeug gefunden werden oder es müssen die Kosten für dieses Bauteil in den entsprechenden Fachabteilungen neu bestimmt werden.

### 5.5.2 Kostenbewertung Blechumformung

#### Bewertungsgrundlage

Die Bewertung der Investitions- und Herstellkosten in der Blechumformung erfolgt auf Basis der Projektabschlusskosten der Bauteile des Referenzfahrzeugs und unter Verwendung der aus der PaKoBG ausgelesenen Informationen. Benötigt werden hierfür die bauteilspezifische Kommunalität und die jeweiligen Bauteilflächen.

- Die bauteilspezifische Kommunalität zwischen Basis und Derivat dient zur Bestimmung der Investitionskosten und der Herstellkosten des Derivats.
- Der Quotient der Bauteilflächen zwischen Basis und Derivat dient zur Bestimmung der Herstellkosten der zur Basis veränderten Bauteile des Derivats.

In den Projektabschlusskosten der Referenzfahrzeuge sind üblicherweise Bauteile in Hausfertigung und Kaufteilmümfänge aufgelistet. Für die Verwendung der Kaufteilkosten in der Bewer-

tungsmethodik werden folgende Vereinbarungen getroffen.

- In Bezug auf die Investitionskosten der Blechumformung sind die Investitionskosten für ein Kaufteilwerkzeug mit der Investitionssumme aus Platinenschnitt-Werkzeug, Presswerkzeugen, Pressenmechanisierung und Prüfmittel eines Bauteils in Hausfertigung gleich zu setzen (vgl. Formel (5.3)).
- Die Kaufteile im Bewertungsumfang, deren Herstellkosten nach einer Vollkostenrechnung angegeben sind, müssen für die Bewertung auf proportionale Herstellkosten normiert bzw. für eine Hausfertigung neu berechnet werden.

### Bewertungsvorgehen

Das Bewertungsvorgehen basiert auf einem Vergleich der CAD-Daten zwischen der Basis und dem zu bewertenden Derivat. Anhand der Vergleichsdaten werden Investitions- und Herstellkosten für das Derivat berechnet. Aufgrund der großen Menge an zu bewertenden Bauteilen wird diese Aufgabe ebenfalls wie die Auswertung des Modells über eine automatische Routine (ein VBA-Makro) übernommen. Die Referenzierung der Bauteile zwischen Basis und Derivat erfolgt über die Sachnummer der Bauteile.

Eingangsinformationen für die Bewertung sind die Schlüsselbegriffe „kommunal“ und „spezifisch“ aus der Bewertung in **Baustein B**. Diese lösen weitere Aktionen wie eine Berechnung der Investitionskosten und der Herstellkosten für das Derivat aus.

Im ersten Schritt der Bewertung werden die als „spezifisch“ klassifizierten Bauteile in einer Subroutine mit hinterlegtem Wissen verglichen und in die Unterklassifizierungen „Synergieteil“, „Konzeptkommunales Bauteil“ und „spezifisches Bauteil“ eingeteilt. Das hinterlegte Wissen in der Routine basiert auf der im Modell hinterlegten Kommunalitätslogik.

Im nächsten Schritt der Bewertung werden durch den klassifizierten Bauteilstatus die in **Tabelle 5-4** aufgeführten Aktionen ausgeführt. Die Routine entnimmt dabei die Referenzkosten der Basis aus einem Tabellenprogramm und bestimmt anhand der in **Tabelle 5-4** gezeigten Regeln die Investitionskosten und Herstellkosten der Bauteile im Derivat und schreibt diese in eine neue Spalte des Tabellenprogramms.

Tabelle 5-4: Aktionen der Bewertungsroutine Blechumformung

Bauteilstatus	Kostenart	Aktion
Kommunalteil	Investitionskosten	Investitionskosten unverändert zur Basis
	Herstellkosten	Herstellkosten unverändert zur Basis
Synergieteil	Investitionskosten	Investitionskosten für spezifisches Beschnittwerkzeug
	Herstellkosten	Berechnung Herstellkosten über CAD-Bauteilflächen
Spezifisches Bauteil (Konzeptkommunales Bauteil)	Investitionskosten	Investitionskosten unverändert zur Basis
	Herstellkosten	Berechnung Herstellkosten über CAD-Bauteilflächen
Spezifisches Bauteil	Investitionskosten	Investitionskosten eines neuen Referenzbauteil
	Herstellkosten	Berechnung Herstellkosten über CAD-Bauteilflächen

Anmerkungen:

- Die *Herstellkosten* der Bauteile sind direkt proportional mit der für die Produktion des Bauteils eingesetzten Materialmenge (vgl. Formel (5.7)). Daher werden die Herstellkosten immer neu berechnet, wenn sich die Bauteilgeometrien zwischen Derivat und Basis ändern.

- Die *Investitionskosten* für Synergieteile mehrten sich für das Bauteil im Derivat nur um die Investitionskosten für neue Beschnittwerkzeuge wie in 2.5.1 unter „Flexible Anlagen- und Werkzeugkonzepte“ beschrieben.
- Bei *konzeptkommunalen Bauteilen* ändert sich im Derivat nur die Bauteilskalierung, die Pressengröße hingegen, die Werkzeuganzahl und die Ziehmethoden bleiben zur Basis gleich (konzeptkommunal). Deswegen bleiben die Investitionskosten in einer Näherung zur Basis unverändert.
- Bei den Investitionskosten von *spezifischen Bauteilen* wird verfahren wie bei konzeptkommunalen Bauteilen mit dem Unterschied, dass zuvor ein entsprechendes, neues Referenzbauteil gefunden werden muss.

### Berechnung Investitions- und Herstellkosten

Die Summe der *Investitionskosten* ( $Inv$ ) ergibt sich aus den Investitionskosten der Platinschnitt- und Umformwerkzeuge, den Änderungskosten, der Mechanisierung der Pressenstrassen und den Prüfmitteln für die Qualitätssicherung, siehe Formel (5.2). Diese Kosten sind in Summe mit den Investitionskosten von Kaufwerkzeugen gleich zu setzen (5.3).

$$Inv_{Ges} = Inv_{Platinschnitte} + Inv_{Werkzeuge} + Inv_{\text{Änderung}} + Inv_{Mechanisierung} + Inv_{Prüfmittel} \quad (5.2)$$

$$Inv_{Kaufteile} \cong Inv_{Ges} \quad (5.3)$$

Für die Berechnung der *Herstellkosten* werden folgende Verhältnismäßigkeiten herangezogen. Wie in Formel (5.1) gezeigt, entsprechen die  $HK_{prop}$  der Summe aus Fertigungskosten ( $FK_{prop}$ ) und Materialkosten ( $MK_{prop}$ ). Die  $FK_{prop}$  der Presswerksumfänge entsprechen den spezifischen Lohnkosten der Werker für das Befüllen der Transportbehälter mit den abgepressten Bauteilen. Im Folgenden werden die  $FK_{prop}$  für alle Bauteile mit einem Durchschnittswert veranschlagt und als Koeffizient in Höhe von 15% den  $MK_{prop}$  aufgeschlagen (Formel (5.4)).

$$FK_{prop} = 0,15 \cdot MK_{prop} \quad (5.4)$$

Die  $MK_{prop}$  der einzelnen Bauteile errechnen sich aus dem Bauteilgewicht ( $m_{BT}$ ), dem Materialpreis ( $P_{Mat}$ ) und dem Materialnutzungsgrad ( $\eta$ ) (Formel (5.5)).

$$MK_{prop} = m_{BT} \cdot P_{Mat} \cdot \frac{1}{\eta} \quad \left[ \text{€} = \text{kg} \cdot \frac{\text{€}}{\text{kg}} \cdot \% \right] \quad (5.5)$$

Dabei besteht das Bauteilgewicht  $m_{BT}$  aus der Bauteilfläche ( $A_{BT}$ ), der Wandstärke ( $d_{BT}$ ) und der Materialdichte ( $\sigma_{BT}$ ) des Bauteils (Formel (5.6)).

$$m_{BT} = A_{BT} \cdot d_{BT} \cdot \sigma_{BT} \quad \left[ \text{kg} = \text{mm}^2 \cdot \text{mm} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \right] \quad (5.6)$$

Die  $HK_{prop}$  der Bauteile errechnen sich aus (5.1), (5.4), (5.5) und (5.6), siehe Term (5.7).

$$HK_{prop} = 1,15 \cdot A_{BT} \cdot d_{BT} \cdot \sigma_{BT} \cdot P_{Mat} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (5.7)$$

Die Berechnung der  $HK_{prop}$  des Derivats erfolgt unter Verwendung der  $HK_{prop}$  der Basis. Hierbei werden als Prämissen festgesetzt, dass die Wandstärke ( $d_{BT}$ ) und das verwendete Material

## 5. Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität

( $\sigma_{BT}$ ;  $P_{Mat}$ ) zwischen Basis und Derivat unverändert bleiben ((5.8) (5.9) (5.10)). Der Materialnutzungsgrad ( $\eta$ ) wird mit einem Mittelwert von 63% für alle Bauteile der gesamte Bodengruppe festgelegt (5.11). Dieser Wert wurde für eine Reihe von Bodengruppen in verschiedenen Produktfamilien und Modellreihen ermittelt und soll daher als allgemeine Richtlinie gelten.

$$d_{BT\_Derivat} = d_{BT\_Basis} \quad (5.8)$$

$$\sigma_{BT\_Derivat} = \sigma_{BT\_Basis} \quad (5.9)$$

$$P_{Mat\_Derivat} = P_{Mat\_Basis} \quad (5.10)$$

$$\eta_{BT} = \eta_{Ges} = 63\% \quad (5.11)$$

Berechnet man die  $HK_{prop}$  des Derivats und der Basis jeweils über (5.7), so können die beiden Gleichungen über (5.11) gleich gesetzt werden. Schließt man die Prämissen (5.8), (5.9) und (5.10) in die Berechnung mit ein und löst nach den  $HK_{prop}$  des Derivats auf, ergibt sich folgender Term (5.12).

$$HK_{prop\_Derivat} = \frac{A_{Bt\_Derivat}}{A_{Bt\_Basis}} \cdot HK_{prop\_Basis} \quad (5.12)$$

So können allein über die bauteilspezifischen Flächen sowie die Herstellkosten der Basis und über die konstruierten Bauteilflächen des Derivats aus der PaKoBG die Herstellkosten für die Synergie- und spezifischen Bauteile ermittelt werden.

Für die Schaffung einer Kostenbasis in der Bewertungsmethode werden zuerst die Investitions- und Herstellkosten des mit der PaKoBG erstellten Basisfahrzeugs ermittelt. Für diesen Vorgang werden direkt die Kostendaten des/der Referenzfahrzeuge verwendet. Zusätzlich werden für diese Initialrechnung die Flächendaten der verwendeten Serienbauteile benötigt. Um eine Vergleichbarkeit der Flächendaten zwischen den Konzeptdaten der PaKoBG und der Serienkonstruktion zu erreichen, ist es zielführend die Flächen der Serienbauteile ohne Lochungen und Durchbrüche zu verwenden. Anschließend werden die erstellten Derivate nur mit den Kostenwerten der PaKoBG-Basis-Bodengruppe verglichen.

Wie bereits erwähnt, werden die Daten der einzelnen Derivateableitungsszenarien automatisch geordnet und in einem Tabellenprogramm abgelegt. So können die Bauteilkosten von Derivat und Basis direkt miteinander verglichen und weitere Datenauswertungsoperationen angestoßen werden.

### 5.5.3 Kostenbewertung Karosseriebau

#### Bewertungsgrundlage

Die Bewertung der *Investitionskosten* im Karosseriebau erfolgt auf Basis der aus der PaKoBG ermittelten Anzahl an Schweißpunkten und unter Verwendung eines zusätzlichen Datenbanksystems. Die Bewertung der *Herstellkosten* resultiert für die erstellten Derivate aus den mit dem Datenbanksystem erstellten Daten und über Experteneinschätzungen.

Wie in **Kapitel 5.2** unter „Werkekonstellation“ genannt, besteht der Karosseriebau in der Bewertungsmethodik aus einer typflexiblen Rohbaulinie. Weder die Logistik im Karosseriebau noch



die Logistik zwischen Blechumformung und Karosseriebau fließen in die Bewertung ein. Die Eingangsdatenbasis für das Bewertungssystem sind, wie in **Kapitel 5.2** unter „Aufbau der Karosserieumfänge“ beschrieben, auf Schweißpunkte normierte Fügeumfänge.

Die Bewertung der *Investitionskosten* mit dem Datenbanksystem basiert auf den Karosseriebaudaten einer großen Anzahl von Referenzfahrzeugen und den Produktionsdaten mehrerer Karosseriebauwerke. In diesem Datenbanksystem sind unter anderem die Investitionssummen und die Anzahl der Schweißpunkte der einzelnen Fahrzeuge geordnet nach den Großzusammenbauten abgelegt. Aus diesen Daten wird je Großzusammenbau eine mittlere Investitionssumme pro Schweißpunkt und Stückzahl gebildet. Über die Anzahl der Schweißpunkte im zu bewertenden Karosseriebauumfang und die Angabe produktionspezifischer Randbedingungen können dann die Investitionskosten für den Bewertungsumfang abgeleitet werden.

Die Großzusammenbauten entsprechen dabei dem in **Kapitel 2.5.2** in **Bild 2-29** gezeigten Schema. Die Investitionssummen beziehen sich auf die zuvor in **Tabelle 5-3** gezeigten Posten. Aus diesen Daten wird je eine mittlere Investitionssumme gebildet.

Die Herstellkosten ( $HK_{prop}$ ) im Karosseriebau basieren hauptsächlich auf Fertigungskosten ( $FK_{prop}$ ), d.h. den bauteilspezifischen Lohnkosten der Werker an den Einlegestationen. Ein bauteilspezifischer Materialverbrauch kann im Karosseriebau weitgehend vernachlässigt werden. Die  $FK_{prop}$  verhalten sich proportional zum Umfang an manuellen Einlegeoperationen und werden anhand des in der Bewertung festgelegten Anlagenkonzepts und in Kombination mit den Daten von Referenzfahrzeugen bestimmt.

### Bewertungsvorgehen

Die Berechnung der Investitionskosten erfolgt anhand der Prämissen, den produktionspezifischen Daten und mit der in Baustein B aus den Bodengruppen ermittelten Anzahl an Schweißpunkten. Die spezifischen Produktionsdaten beziehen sich auf die *Produktionsrahmenbedingungen* sowie die geplante maximale *Kapazität* und auf das *Anlagenkonzept* im Karosseriebau.

- Die *Produktionsrahmenbedingungen* setzen sich zusammen aus der Anzahl der Schichten pro Tag und Woche, der Stunden je Schicht, der Systemverfügbarkeit und der geplante Ersatzteilausstattung.
- Die *Kapazität* des Werks errechnet sich aus der Stückzahl der Basis und der Stückzahl der Derivate bezogen auf die jeweilige Laufzeit und die Produktionsrahmenbedingungen. Die Kapazität wird für die einzelnen Fahrzeuge in Einheiten pro Stunde (E/h) angegeben.
- Das *Anlagenkonzept* wird für jeden Großzusammenbau spezifisch festgelegt und ist abhängig von der geforderten Typenflexibilität sowie den Anforderungen der einzelnen Derivate an die Anlage. Eine Übersicht der möglichen Anlagenkonzept-Konfigurationen gibt **Tabelle 5-5**.

Im Fortgang der Bewertung werden für die Basis und für die Derivate je Großzusammenbau die jeweiligen Investitionssummen errechnet. Eingangsdaten hierfür sind die Schweißpunktanzahlen, die Produktionsrahmenbedingungen und die Gesamtkapazität des Werks. Hinzu kommen die Stückzahlen der Fahrzeuge und je Großzusammenbau die Anzahl der Schweißpunkte in Kombination mit den anlagenkonzeptabhängigen Investitionsfaktoren (vgl. **Tabelle 5-5**).

## 5. Bewertungsmethodik für Strukturvariabilität

Tabelle 5-5: Konfigurationsmöglichkeiten in Anlagenkonzept des KB je Großzusammenbau

Anlagenkonzept (max. Stückzahl = x)	Investitionsfaktor
Eine spezifische Anlage für einen Karosserietyp	1,00
n Anlagen für n Karosserietypen (mit den Stückzahlen $x_1+x_2+\dots+x_n = x$ )	$1,00 \times n \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{x_n}$
Eine kommunale Anlage für n Typen mit keiner/geringer Differenzierung	+ n x 0,05
Eine typflexible Anlage für n Typen mit konzeptkommunalen Umfängen	+ n x 0,10
Eine typflexible Anlage für n Typen mit spezifischen Umfängen	+ n x 0,15
Integration von cabriospezifischen Umfängen für n Typen	+ n x 0,20

### Anmerkung:

- Konzeptkommunal beschreibt im Rahmen des Karosseriebaus, wie in **2.5.2** unter „Flexible Karosseriebauanlagen“ beschrieben, spezifische Bauteile in einem Zusammenbau, die aufgrund gleicher Fügefolgen in einer typflexiblen Anlagenstation im Karosseriebau verbunden werden können.

Die Grundausslegung der typflexiblen Anlagen erfolgt in diesem Zusammenhang auf die maximale Gesamtstückzahl (Basis + n Derivate) und die maximale Anzahl an Fügeinhalten. In Abhängigkeit des Differenzierungsgrads der Derivate wird in der Grundausslegung der Anlage je Derivat ein entsprechender Investitionsfaktor aufgeschlagen.

Die errechneten Werte für Investitions- und Herstellkosten werden abschließend in ähnlicher Form wie die Kostenwerte der Blechumformung in eine Tabelle übertragen. So können die Daten der Basis und der Derivate gegenüber gestellt, miteinander verglichen werden und für weitere Datenoperationen zur Verfügung gestellt werden.

### 5.5.4 Gesamtkostenbewertung

Um einen einheitlichen Vergleich der verschiedenen Ableitungsszenarien bezüglich aller Kostenpunkte (Investitions- und Herstellkosten in der Blechumformung und im Karosseriebau) durchführen zu können, wird abschließend eine Gesamtkostenbewertung durchgeführt. Wie in **1.2**, der „Problemstellung“, beschrieben, handelt es sich bei der Bewertungsmethodik um eine Entscheidungshilfe bei der Bestimmung des optimalen Ableitungsansatzes für die jeweiligen Derivate der Produktfamilie. Entscheidungsprozesse bezüglich der Ausprägung von Derivaten sind der langfristigen Unternehmensplanung zu zuordnen. Da nach ADAM [2] die langfristige Kostenpolitik auf den Ergebnissen der Investitionspolitik aufbaut, wird die Gesamtkostenbewertung im Rahmen dieser Arbeit anhand einer Investitionskostenrechnung durchgeführt. Ziel der Investitionsplanung ist es, diejenigen Ableitungskonzepte bzw. Anlagen auszuwählen, die unter den gegebenen Finanzierungs- und Absatzmöglichkeiten den Kapitalwert oder das Endvermögen maximieren [2].

Analog zu den Ausführungen von ADAM wird auch im Rahmen dieser Arbeit die Analyse rein auf die Kostenwirkung beschränkt, d.h. es wird untersucht, welche Ableitungskonzepte bzw. welche Anlagenkonfigurationen sich als wirtschaftlich zielführend erweisen. Als Voraussetzung sei angenommen, dass die prognostizierten Stückzahlen der jeweiligen Derivate (Ableitungsszenarien) vom Marketing im Sinne einer gesamtunternehmerischen Zielsetzung validiert und von der

Unternehmensführung abgesegnet wurden. Eine Bewertung und Validierung der vorgegebenen Stückzahlen je Fahrzeug ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

### Methodenwahl - Investitionsrechnung

Investitionskostenrechnungen untergliedern sich in der Literatur ([2], [46], [123]) in *statische* und *dynamische* Investitionsrechenverfahren. Unterscheidungskriterium ist hierbei nach RÖHRICH [123], ob der zeitliche Anfall der Ein- und Ausgaben in der Investitionsrechnung betrachtet wird oder nicht.

Die *Statische Investitionsrechnung* betrachtet nicht die gesamte Laufzeit der Investition. Sie arbeitet mit einperiodischen Durchschnittswerten einer repräsentativen Periode. Die zeitliche Struktur der in die Bewertung eingehenden Wertgrößen bleibt unberücksichtigt [123]. Statische Investitionsrechnungen unterteilen sich in

- Kostenvergleichsrechnung,
- Gewinnvergleichsrechnung,
- Amortisationsrechnung und
- Renditerechnung ([46], [123]).

In der *Dynamischen Investitionsrechnung* werden zusätzlich die Zahlungszeitpunkte der mit der Investition verbundenen Ein- und Ausgänge von Wertgrößen abgebildet [123]. Dieses Verfahren berücksichtigt den Zeitwert des Geldes und ist somit nach HAUZENEDER in der Lage die echte Verzinsung des eingesetzten Kapitals zu berücksichtigen [46]. Als Dynamische Verfahren werden die

- Kapitalwertmethode,
- Annuitätenmethode,
- Interne Zinsfußmethode und
- Dynamische Amortisationsvergleichsrechnung genannt ([46], [123]).

In der Bewertungsmethodik dieser Arbeit wird, wie schon erwähnt, nur die Kostenseite der Investitionskosten betrachtet. Hintergrund ist, dass Aussagen zu den finanziellen Rückflüssen der Gesamtfahrzeugerlöse auf die Bauteile entwicklungsphasenbedingt aus Sicht der Karosserieentwicklung in frühen Entwicklungsphasen nicht möglich sind. Die *Kostenvergleichsrechnung*, die als einzige der Methoden ohne Betrachtung der Erlöse und ihrer Zeitkomponente auskommt, würde daher den Anforderungen der vorliegenden Bewertungsmethodik genügen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird jedoch die *Kapitalwertmethode* angewandt. Gründe hierfür sind die Möglichkeit einer Erweiterbarkeit der Methode auf die Betrachtung der unterschiedlichen Anlaufzeitpunkte der Derivate und den somit verschiedenen Investitionszeitpunkten und die Möglichkeit für eine Erweiterung um die Betrachtung der Erlösseite sowie die allgemeine Akzeptanz der Kapitalwertmethode in der Automobilindustrie. In einer Validierung lieferten die Kapitalwertmethode und die Kostenvergleichsrechnung vergleichbare prozentuale Kostenaussagen, was den Aussagen für diese Arbeit genügt.

### Bewertungsgrundlage

Allgemein wird der *Kapitalwert* aus dem Vergleich zwischen der Investitionssumme ( $Inv_0$ ) und der Einnahmen-/ Ausgabenbilanz (E, A) in n Perioden der Investitionslaufzeit, dem Restwert (R) der Investition und dem unternehmensspezifischen Kalkulationszinsfuß (i) gebildet [46]. Siehe (5.13).

$$K_W = \sum_1^n (E_n - A_n) \cdot \frac{1}{(1+i)^n} + \frac{R}{(1+i)^n} - Inv_0 \quad (5.13)$$

Für die Bildung des Kapitalwerts der Ableitungsszenarien in dieser Arbeit sind die folgenden Prämissen gesetzt:

- Da die periodenabhängigen Einnahmen ( $E_n$ ) zum Zeitpunkt der Bewertung noch nicht bekannt sind, werden sie gleich Null gesetzt.
- Die Ausgaben ( $A_n$ ) unterteilen sich in Fixkosten und von der Periodenstückzahl  $x$  abhängige, variable Kosten (5.14).

$$A_n = K_{fix} + K_{var} \cdot x \quad (5.14)$$

Die *Fixkosten* sind definitionsgemäß als konstant anzusehen und sind für alle Derivateableitungsszenarien in ihrem Wert als *gleich* angesetzt.

Da die Bewertungsmethodik auf einem Variantenvergleich basiert, können die Fixkosten der zu vergleichenden Varianten gekürzt werden und sind somit in einer Näherung vernachlässigbar.

- Daher werden in der Bewertung nur die variablen Kosten betrachtet. Diese setzen sich zusammen aus der Summe der  $HK_{prop}$  der Blechumformung und des Karosseriebaus (5.15).

$$HK_{prop\_ges} = HK_{prop\_BU} + HK_{prop\_KB} \stackrel{!}{=} K_{var} \quad (5.15)$$

- Die Stückzahlen je Fahrzeug basieren auf der Gesamtabstanzzahl  $x_{ges}$  über der Laufzeit und werden über die gesamte Laufzeit als konstant gesetzt. Anlaufkurven und Absatzschwankungen bleiben in der Betrachtung unberücksichtigt. So ergibt sich die Periodenstückzahl ( $x$ ) der jeweiligen Fahrzeuge aus der Gesamtstückzahl ( $x_{ges}$ ) und der Anzahl der Perioden ( $n$ ), siehe (5.16).

$$x = x_{ges} / n \quad (5.16)$$

- Die Höhe der erwarteten Verzinsung ( $i$ ) orientiert sich am Kapitalmarktzins und erhält einen Risikoaufschlag für den unternehmerischen Einsatz des Kapitals [46].
- Die Laufzeit wird in  $n = 7$  einjährige Perioden unterteilt.
- Der Restwert ( $R$ ) der Investition in der Blechumformung und im Karosseriebau wird gleich Null gesetzt.  
Die Presswerkzeuge werden nach der Fahrzeugproduktion für die Ersatzteilproduktion mindestens 30 Jahre gelagert. Der danach anfallende Schrotterlös wird nicht betrachtet.  
Die Karosseriebauanlagen sind bis Ende der Laufzeit komplett abgeschrieben und werden bis dato nach Ende der Laufzeit verschrottet oder günstig abgegeben. Der Erlös wird hier ebenfalls nicht betrachtet.
- Die Summe der Investitionskosten der Blechumformung ( $Inv_{BU}$ ) und des Karosseriebaus ( $Inv_{KB}$ ) ergeben zusammen die Grundinvestitionskosten ( $Inv_0$ ), vgl. (5.17).

$$Inv_0 = Inv_{BU} + Inv_{KB} \quad (5.17)$$

Der Kapitalwert der jeweiligen Bodengruppen ergibt sich also wie folgend (5.18):

$$K_W = -Inv_0 - \sum_1^n HK_{prop\_ges} \cdot x \cdot \frac{1}{(1+i)^n} \quad (5.18)$$

Der im Rahmen dieser Arbeit bestimmte Kapitalwert ist ein negativer Zahlenwert, da nur die Kostenseite der betrachteten Szenarien in die Bewertung einfließt.

## Bewertungsvorgehen

Das Szenario mit dem höchsten Kapitalwert ist aus finanzieller Hinsicht bezüglich der Amortisation der eingesetzten Finanzmittel als zielführend zu erachten. Wie in den Kapiteln 5.5.2 und 5.5.3 beschrieben, erfolgt auch die Berechnung des Kapitalwerts automatisiert über eine Auswerterroutine in Form eines Skripts unter Verwendung eines Tabellenprogramms.

*Die Evaluation der finanziellen Auswirkung der in den einzelnen Derivate realisierten Kommunalitätsansätze ist somit durch die Verwendung dieses Bewertungssystems für die Erstellung erster Prognosewerte möglich.*

## 5.6 Baustein D – Geometriebewertung

Wie eingangs in Kapitel 5 erwähnt, ergeben sich bei der Ableitung der Derivatbodengruppen durch die kommunale Übernahme von Komponenten oder Karosseriebauteilen aus der Basis Zielverfehlungen gegenüber den je Derivat geforderten Maßzielen. In der geometrischen Bewertung wird daher überprüft inwieweit sich die Kontrollparameter im Maßplan der jeweiligen Derivatbodengruppen mit den Zielvorgaben der Derivatmaßpläne decken (vgl. Ebene 2 in Tabelle 5-1). Die Evaluierungsergebnisse dieses Maßvergleichs fließen in eine Malus-Liste ein. Für jedes verfehlt Zielmaß wird in der Bewertung ein Maluspunkt (MP) vergeben.

Tabelle 5-6: Kontrollmaße für die Geometriebewertung der Szenarien der Derivateableitungen

L-Maßkonzept Exterieur	L-Maßkonzept Interieur	Maßkonzept Kofferraum
L101 Radstand	L40 Torsowinkel Fahrersitz	W200 Gepäckraumbreite maximal
L103 Fahrzeuglänge	L41 Torsowinkel 2. Sitzreihe	W202 kleinste Breite zw. Radhäusern
L104 Überhanglänge vorne	L34 effektiver Beinraum vorn	H253 Höhe Gepäckraumboden - Standebene
L105 Überhanglänge hinten	L48 Kniefreiheit hinten	
L114 Radmittelpunkt v zu R-Punkt v	L50 R-Punkt - Abstand vorne/hinten	
LW Lage Windlauf	L51 effektiver Beinraum hinten	
H122 Neigungswinkel Frontscheibe		
W-Maßkonzept Exterieur	W-Maßkonzept Interieur	
W101 Spurweite vorn	W20 Y-Koordinate R-Punkt vorn	
W102 Spurweite hinten	W25 Y-Koordinate R-Punkt 2. Sitzreihe	
W103 Fahrzeugbreite		
H-Maßkonzept Exterieur	H-Maßkonzept Interieur	
H114 Windlaufpunkt bis Standebene	H5 R-Punkt vorn - Standebene	
H156 Bodenfreiheit ML2 bis Standebene	H10 R-Punkt 2. Sitzreihe - Standebene	
H106 Überhangwinkel vorn	H30 R-Punkt - Fersenpunkt - vorn	
H107 Überhangwinkel hinten	H31 R-Punkt - Fersenpunkt - 2. Sitzreihe	
dR Radurchmesser	H61 Kopffreiheit Dachverkleidung - vorn	
R stat statischer Radhalbmesser	H62 Kopffreiheit Dachverkleidung - 2. Sitzreihe	
H101 Fahrzeughöhe ML2		
Reifendimension		

DIN 702000 [N4] bildet hierbei die Basis der Zielmaße. Die zu kontrollierenden Maße referenzieren dabei auf die Bauteile der PaKoBG und / oder beeinflussen sie direkt (siehe Tabelle 5-6). Je nach Relevanz und Anforderungen der jeweiligen Derivate können die einzelnen Zielmaße in der Malusbepunktung mit einem spezifischen Gewichtungskoeffizienten ( $g_n$ ) belegt werden. Der Maluswert ( $M$ ) eines Ableitungsszenarios ergibt sich aus dem Verhältnis der Summe der  $n$  gewichteten Einzelmaluswerte zu der Anzahl der gewerteten Zielmaße ( $A_M$ ). Siehe Formel 5.19.

$$M = \frac{\sum_1^n (M_n \cdot g_n)}{A_M} \quad (5.19)$$

## 5.7 Baustein E – Gesamtbewertung

Um die Kostenbewertung der einzelnen Derivatszenarien und deren geometrische Bewertung im Sinne einer Gesamtbewertung zueinander in Relation setzen zu können, wird in diesem Abschnitt die *Derivateableitungskennzahl* eingeführt.

Rechnerisch werden mit der Derivateableitungskennzahl (DAK) die Einhaltung der Maßziele ( $M_{ges}$ ) und der Quotient der Investitionskosten (Inv) bzw. der Kapitalwerte (Kw) von Basis und Derivat zueinander ins Verhältnis gesetzt. Auf Basis dieser Kennzahl ist es nun möglich unterschiedliche Szenarien je abgeleiteten Derivat, als auch unterschiedliche Derivate untereinander zu vergleichen. Die Berechnung der Derivateableitungskennzahl der Investitionskosten ( $DAK_{Inv}$ ) und die Derivateableitungskennzahl der Kapitalwerte ( $DAK_{Kw}$ ) ist in Formel 5.20 und 5.21 aufgeführt.

$$DAK_{Inv} = M_{ges} + \frac{Inv_{Derivat}}{Inv_{Basis}} \quad (5.20)$$

$$DAK_{Kw} = M_{ges} + \frac{Kw_{Derivat}}{Kw_{Basis}} \quad (5.21)$$

Je geringer der Wert der Derivateableitungskennzahl ausfällt, desto besser ist das jeweilige Derivateableitungsszenario zu bewerten. Hierzu die folgenden ergänzenden Ausführungen:

- Der Maluswert bewegt sich zwischen null und eins, wobei null als eine maximale Maßzielerreichung und eins als eine vollständige Maßzielverfehlung zu werten ist.
- Der optimale Quotient der Investitionskosten stellt sich bei null ein und bedeutet, dass das Derivat ohne zusätzliche Investitionen erstellt werden kann. Eine maximale Obergrenze des Quotienten der Investitionskosten kann nicht angegeben werden, jedoch soll eine realistische Obergrenze mit dem Wert drei nicht überschritten werden.
- Ein Quotient der Kapitalwerte mit dem Wert null ist rein rechnerisch darstellbar aber auszuschließen. Dies bedeutet, dass das Derivat ohne Investitionskosten erstellt werden muss oder mit der Stückzahl null gebaut wird. Jedoch sind auch hier geringe Zahlenwerte als positiv zu werten.
- Die Obergrenze des Quotienten der Kapitalwerte ist stark abhängig von den jeweiligen Stückzahlen der Basis und des Derivats. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Stückzahldifferenz zwischen Basis und Derivat den Faktor vier nicht überschreitet, wie aus Untersuchungen zu Stückzahlsensitivitäten hervorgeht.

Im folgenden Abschnitt wird die in diesem Kapitel entwickelte Bewertungsmethodik anhand der Ableitung zweier Derivate in verschiedenen Kommunalitätsausprägungen validiert.

## 6 Validierung der Bewertungsmethodik

In diesem Abschnitt wird die in den vorherigen Kapiteln entwickelte Methodik zur Bewertung von Derivateableitungen in Produktfamilien exemplarisch an der Ableitung eines SUV- und eines Roadsterderivats validiert.

In iterativen Schritten werden dabei für das SUV- und das Roadster-Derivat verschiedene Ableitungsszenarien erstellt. Ziel ist es durch die Anwendung der Bewertungsmethodik die Extreme einer Derivateableitung zwischen maximaler Kommunalität und maximaler Individualität aufzuzeigen. Hierbei werden jeweils derivatspezifische Prämissen in unterschiedlicher Gewichtung gesetzt, um den Anforderungen an das jeweilige Fahrzeugkonzept gerecht zu werden. Diese Prämissen enthalten die Zielwerte für die zu erreichenden Fahrzeugmaße, den zu erreichenden Kommunalitätsgrad in der Karosserie und den gesetzten Übernahmegrad von Komponenten aus der Basisproduktfamilie. Die Ableitung von SUV und Roadster werden auf Basis einer Mittelklasse-Produktfamilie mit Standardantriebs-Architektur durchgeführt. (vgl. **2.3.4** – Fahrzeugarchitekturen & Fahrzeugklasseneinteilung). Abschließend werden die Szenarien in einer Gesamtbewertung auf Basis der Derivateableitungskennzahl miteinander verglichen und bewertet.

### 6.1 Prämissen, Maßvorgaben, Komponenten-Baukasten und Produktfamilienbasis

#### Prämissen

Im Folgenden werden für die Evaluierung je Derivat bis zu drei Szenarien erstellt:

##### *Szenario 1 – Maximale Kommunalität*

In diesem Szenario ist die Übernahme der Baukastenkomponenten aus der Produktfamilienbasis als verbindlich gesetzt. Die Bauteile in der Karosseriebodengruppe sind mit einem maximalen Kommunalitätsgrad abzuleiten.

##### *Szenario 2 – Optimales Maßkonzept*

In diesem Szenario ist auf eine maximale Erreichung der vorgegebenen Maßziele zu achten. Die Bauteile in der Bodengruppe sind mit einem maximalen Grad an Konzept-Kommunalität für eine Fertigung in einem flexiblen Karosseriebau abzuleiten. Der Komponentenbaukasten kann durch derivatspezifische Komponenten substituiert werden.

##### *Szenario 3 – Solitär*

Dieses rein rechnerische Szenario stellt den beiden oberen Produktfamilienzzenarien die Entwicklung und Produktion des geplanten Fahrzeugs als ein von der Produktfamilie losgelöster Solitär gegenüber.

Die beiden ersten Szenarien sind als Extrembeispiele an die äußeren Leitplanken von maximaler Kommunalität und maximaler Individualität innerhalb einer Produktfamilie gesetzt, um die Wirkungsweise der entwickelten Logik im Rahmen einer skalierbaren Plattform zu evaluieren. In Abhängigkeit der Fahrzeugklasse und der Philosophie des jeweiligen Automobilherstellers bewegen sich reale Derivateableitungen in Produktfamilien zwischen diesen beiden Extremen. In Richtung kleiner Fahrzeugklassen ist in diesem Zusammenhang aufgrund der geringeren Margen ein stärkerer Standardisierungsdruck zu erkennen. Das dritte Szenario zielt explizit auf die Bewertung stark individueller Fahrzeugkonzepte ab.

## Bewertungsgrundlage

Wie eingangs erwähnt, erfolgen die Analysen zur Ableitung des SUV- und Roadster-Derivats auf Basis einer Mittelklasse-Produktfamilie mit Standardantriebsarchitektur. In der vorliegenden Bewertung werden die Karosseriestrukturen der folgenden aktuellen Fahrzeugprojekte als Bewertungsgrundlage herangezogen.

*Produktfamilienbasis:* BMW 3er-Modellreihe, ab Mj. 2005.

### Ableitung SUV

Maßvorgaben: BMW X3, Mj. 2003.

Ableitungsbasis: BMW 3er Touring, Mj. 2006 mit Allradantrieb.

### Ableitung Roadster

Maßvorgaben: BMW Z4, Mj. 2009.

Ableitungsbasis: BMW 3er Cabrio, Mj. 2006 mit Standardantrieb.

Tabelle 6-1: Vergleich Maßkonzept für Basis, SUV und Roadster mit Deltabewertung.

L-Maßkonzept Exterieur		SUV	Delta	Touring/Cabrio	Delta	Roadster
L101	Radstand	2810	50	2760	265	2495
L103	Fahrzeuglänge	4628	108	4520	429	4091
L104	Überhanglänge vorne	847	92	755	-69	824
L105	Überhanglänge hinten	971	-34	1005	233	772
L114	Radmittelpunkt v zu R-Punkt v	1522	2	1520	-191	1711
LW	Lage Windlauf	399	-98	497	497	
H122	Neigungswinkel Frontscheibe	57,9	-1,8	59,7	-2,4	62,1
W-Maßkonzept Exterieur		SUV	Delta	Touring/Cabrio	Delta	Roadster
W101	Spurweite vorn	1616	116	1500	30	1470
W102	Spurweite hinten	1634	121	1513	0	1513
W103	Fahrzeugbreite	1874	57	1817	36	1781
H-Maßkonzept Exterieur		SUV	Delta	Touring/Cabrio	Delta	Roadster
H114	Windlaufpunkt bis Standebene	1071	168	903	5	898
H156	Bodenfreiheit ML2 (DIN: bis Standebene)	183,4	43,7	139,7	24,7	115
H106	Überhangwinkel vorn	24,7	9,5	15,2	3,9	11,3
H107	Überhangwinkel hinten	21,2	6,6	14,6	-0,6	15,2
dR	Radurchmesser	702	68	634	-1	635
R stat	statischer Radhalbmesser	321	30	291	-7	298
H101	Fahrzeughöhe ML2	1644	246	1398	118	1280
	Reifendimension	225/60 R17	--	205/55 R16	--	255/35 R18
L-Maßkonzept Interieur		SUV	Delta	Touring/Cabrio	Delta	Roadster
L40	Torsowinkel Fahrersitz	25	0	25	0	25
L41	Torsowinkel 2. Sitzreihe	27	0	27	--	--
L34	effektiver Beinraum vorn	1010	-44	1054	-13	1067
L48	Kniefreiheit hinten	67	28	39	--	--
L50	R-Punkt - Abstand vorne/hinten	830	30	800	--	--
L51	effektiver Beinraum hinten	934	60	874	--	--
W-Maßkonzept Interieur		SUV	Delta	Touring/Cabrio	Delta	Roadster
W20	Y-Koordinate R-Punkt vorn	375	0	375	10	365
W25	Y-Koordinate R-Punkt 2. Sitzreihe	345	20	325	--	--
H-Maßkonzept Interieur		SUV	Delta	Touring/Cabrio	Delta	Roadster
H5	R-Punkt vorn - Standebene	691	225	466	61	405
H10	R-Punkt 2. Sitzreihe - Standebene	680	204	476	--	--
H30	R-Punkt - Fersenpunkt - vorn	323	75	248	55	193
H31	R-Punkt - Fersenpunkt - 2. Sitzreihe	320	85	235	--	--
H61	Kopffreiheit bis Dachverkleidung - vorn	1035	48	987	-13	1000
H62	Kopffreiheit bis Dachverkleidung - 2. Sitzreihe	997	33	964	--	--
Maßkonzept Kofferraum		SUV	Delta	Touring/Cabrio	Delta	Roadster
W200	Gepäckraumbreite maximal	1200	-25	1225	-199	1424
W202	kleinste Breite zw. Radhäusern	1100	171	929	126	803
H253	Höhe Gepäckraumboden - Standebene	668	132	536	121	415

Entsprechend ist in **Tabelle 6-1** eine Gegenüberstellung der Fahrzeugmaße aufgelistet. Die Maße entsprechen dabei den in **5.6** gewählten Parametern (vgl. **Tabelle 5-6**).

Um eine Prognose für die Realisierbarkeit der Ableitungsszenarien geben zu können, ist in


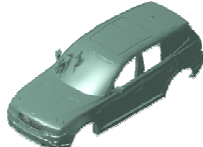



**Tabelle 6-1** eine Farbskalierung für die Deltawerte eingeführt. Eine Einfärbung in *grün* entspricht einer nur geringen Differenz zwischen Derivat und Basisfahrzeug d.h. einer einfachen Realisierbarkeit der Maße. Die Maße in den *gelb* hinterlegten Feldern erfordern eine Prüfung der Umsetzbarkeit in der Konzepterstellung. Die *rot* gekennzeichneten Maße sind als konzeptkritisch identifiziert. Bei einer Derivateleitung mit hoher Bauteilkommunalität ist für die rot gekennzeichneten Felder eine Verletzung der Maßziele zu prognostizieren. Sollen diese Maßziele in der Derivateleitung zwingend umgesetzt werden, so müssen deutliche Veränderungen an der derivatspezifischen Karosseriestruktur vorgenommen werden.

## Komponenten-Baukasten

Gemäß den jeweils in den Ableitungsszenarien gesetzten Prämissen sind die in **Tabelle 6-2** vorgeschriebenen Baukastenkomponenten zu verwenden. Im Vorfeld der Bewertung ist eine Auswahl getroffen worden, welche der Komponenten für die Erstellung der Ableitungsszenarien verwendet werden. Die Reduzierung der Wahlmöglichkeiten dient dabei zur Sicherung der Kommunalität in den Ableitungsszenarien.

Tabelle 6-2: Baukasten-Komponenten und verwendete Karosseriegerippe.

		Komponenten-Baukasten				Karosseriegerippe
		Antrieb	Fahrwerk	Interieur	Karosserie	
Basis-Produktfamilie		<b>Motorenpalette</b> Leistung [PS] 129 - 306 Drehmoment [Nm] 180 - 580 Hubraum [l] 1995 - 2996 <b>Antrieb</b> Standard, Allrad <b>Getriebe</b> 6-Gang manuell, 6-Gang Automatik	<b>Fahrwerk vorn</b> Zweigelenk Federbein-Vorderachse <b>Fahrwerk hinten</b> Fünflenkerachse, Feder & Dämpfer getrennt <b>Radgrößen (<math>D_{\text{nenn min./max.}}</math>)</b> 632mm / 636mm		<b>Fahrer-/Beifahrersitz</b> mechanisch / elektrisch / Komfort (mittlere Klasse) <b>Tank</b> Volumen 63l	
	SUV (alternativ)		<b>Fahrwerk vorn</b> Zweigelenk Federbein-Vorderachse <b>Fahrwerk hinten</b> Fünflenkerachse, Federbein <b>Radgrößen (<math>D_{\text{nenn min./max.}}</math>)</b> 690mm / 693mm			
	Roadster (alternativ)				<b>Tank</b> Volumen 55l	

Die Geometrien der Baukastenkomponenten und der derivatspezifischen Karosseriegerippe werden als datenreduzierte Hüllgeometrien dargestellt. Die Baukastenkomponenten werden dabei als abgeschlossene Einheiten erachtet und sollen nicht tiefer detailliert werden. Folgend der Klassifizierung nach RENNER [119] sind die Komponenten des Komponenten-Baukastens auf Systemebene, einer Produktstrukturebene mit hoher Komplexität, angeordnet. Diese Reduzierung der Detaillierungstiefe soll vermeiden die Belange einer Baukastenentwicklung mit denen der Karosserieentwicklung zu überlagern. Die Wahl der zu betrachtenden Baukastenkomponenten entspricht ihrer Wertigkeit im Gesamtfahrzeugprojekt und ihres Bauraumbedarfs im Fahrzeugpackage.

Die Verschraubungsstellen der beschriebenen Fahrwerkskomponenten werden in die Karosserie der PaKoBG über einen Fahrwerksadapter appliziert. Die Träger im Vorderbau und Hinterbau der PaKoBG passen sich dabei in ihrer Grundtopologie an die geänderten Vorgaben an.

Entsprechend des Fahrzeugkonzepts zeigen die gewählten Komponenten Unterschiede in Art und Aufbau zwischen der Produktfamilie und dem SUV bzw. dem Roadster:

## 6. Validierung der Bewertungsmethodik

- Die *Fahrwerks-Komponenten* weisen Unterschiede in der Bauweise der jeweiligen Hinterachskonstruktion auf. Gründe hierfür sind differenzierte Anforderungen an Fahrkomfort, Sportlichkeit, Geländegängigkeit, Fahrzeuggewicht, Ladebreite und -höhe. Zudem sind die Radgrößen und Spurweiten des SUV im Vergleich zur Produktfamilienbasis deutlich größer (vgl. **2.3.4** - Karosseriebauformtypische Packageproportionen).
- Bedingt durch die spezifischen Fahrzeugproportionen (vgl. **2.3.4** - Karosseriebauformtypische Packageproportionen) und das jeweilige Package unterscheidet sich die Bauform des *Tanks* eines klassischen Roadsters deutlich von dem konventionellen *Satteltank* der Basis.

### Produktfamilienbasis

Als Ausgangsbasis für die Bewertungsprozesse muss zuerst die Produktfamilienbasis erstellt werden. Diese umfasst eine an die Maßvorgaben und Geometrien der Basis angepasste Bodengruppenkonstruktion mit einer entsprechenden Kommunalitätslogik sowie einschließlich der Hüllgeometrien der Baukasten-Komponenten (siehe **Bild 6-1**).

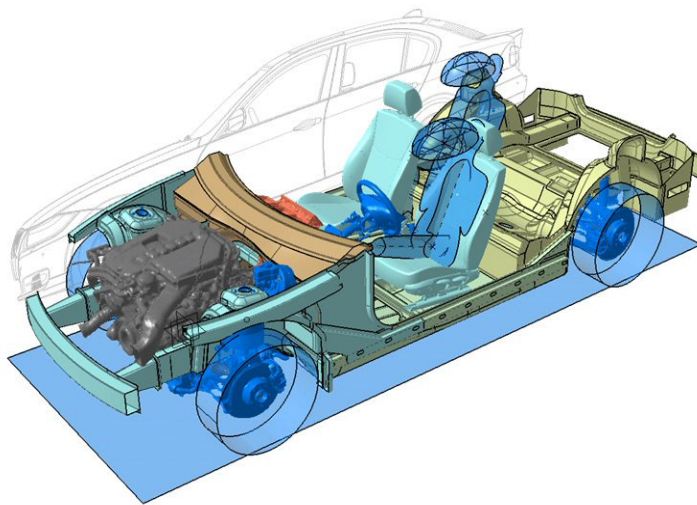


Bild 6-1: PaKoBG der Produktfamilienbasis mit Karosseriegerippe und Baukasten-Komponenten

Für die folgenden Untersuchungen sind für die Basis die Herstell- sowie Investitionskosten im Presswerk und im Karosseriebau sowie der Kapitalwert mit der in **Baustein C** gezeigten Bewertungsmethodik bewertet worden. Als Referenz der Bewertung dienen die Projektabschlusskosten der zuvor genannten Referenzfahrzeuge.

### Produktion

Wie in Abschnitt 5 beschrieben, sind für die wirtschaftliche Bewertung in **Baustein C** der Bewertungsmethodik Prämissen bezüglich der Gewerke im Presswerk und im Karosseriebau des zu betrachtenden Produktionsstandorts gesetzt worden. Diese sollen um die folgenden veranschlagten Produktionsmengen je Derivat ergänzt werden. Die in **Tabelle 6-3** gezeigten Produktionsmengen sind als gemittelte tägliche Ausstoßmenge in Einheiten pro Tag [U/d] (Units per Day) angegeben.

Tabelle 6-3: Festgelegte Produktionsmenge für die Bewertung der Ableitungsszenarien

	Tagesproduktion [U/d]
Basis	480
SUV	520
Roadster	260

## 6.2 Ableitung SUV

Unter Verwendung der Methodik für Strukturvariabilität wird in diesem Abschnitt ein SUV-Derivat auf Basis der zuvor gezeigten Produktfamilienbasis abgeleitet. Grundlage der SUV-Ableitung bilden die in Kapitel 6.1 gesetzten Prämissen, Maßvorgaben und Baukastenkomponenten.

Operativ erfolgt die Ableitung des SUV in der PaKoBG über ein Variieren der Parameterwerte in den Steuerschnitten und/oder über ein Verändern der Parameterwerte direkt an den Steuerelementen der jeweiligen Bauteile (vgl. Modellsteuerung in Abschnitt 5.3.5). Änderungskonstruktionen oder eine Neukonstruktion von Bauteilen sind für die folgenden SUV-Szenarien nicht zwingend erforderlich.

Wie in 6.1 genannt, werden für die Ableitung des SUVs drei Szenarien erstellt. Je Szenario erfolgt eine Bewertung der Kommunalitäten, der Kosten und der Geometrien wie in Kapitel 5 vorgestellt. Für das erste SUV-Szenario sollen die notwendigen Arbeitsschritte der Derivateableitung ausführlich erläutert werden. Die anschließenden Szenarien von SUV und Roadster werden lediglich anhand der Endergebnisse erläutert.

Für die Ableitung des SUV sind dabei folgende Maßzielwerte aus **Tabelle 6-1** als konzeptkritisch identifiziert:

- Verbreiterung der Spurweite vorne (W101) und hinten (W102) um ca. 120 mm.
- Erweiterung der Radgröße im Durchmesser (dR) um ca. 70 mm.
- Vergrößerung der Bodenfreiheit (H156) um ca. 45 mm
- Erweiterung der Böschungswinkel vorne und hinten für eine Light Duty Truck-Zulassung in den USA um 10° bzw. 7°.
- Erhöhung der maximalen Durchladebreite (W202) im Gepäckraum um ca. 170 mm.

### 6.2.1 SUV Szenario 1 - Maximale Kommunalität

#### Prämissen

Als oberste Prämisse wird bei diesem Szenario ein hoher Übernahmegrad bezüglich der Komponenten und der Blechteile aus der Basis gesetzt. In Kombination mit den SUV-spezifischen Zielen bedeutet dies im Detail für die Ableitung des SUVs:

- Maximaler Kommunalitätsgrad in der Übernahme der Komponenten.
- Maximaler Kommunalitätsgrad in der Karosseriebodengruppe zur Basis.
- Erzielen einer entsprechend hohen Anzahl an Zielmaßen.
- Gemeinsame Fertigung von Basis und Derivat auf typflexiblen Karosseriebauanlagen.

#### Ableitungsvorgehen

Aus diesen Forderungen ergibt sich das in **Bild 6-2** gezeigte Ableitungsvorgehen.

Für die Darstellung der durchgeführten Differenzierungen zwischen Derivat und Basis erfolgt in den folgenden Ausführungen eine Untergliederung nach einzelnen Maßblöcken. Hierbei ist anzumerken, dass sich der reale Package-Auslegungsprozess von dieser Untergliederung unterscheidet. Dieser erfolgt in einem iterativen Prozess, getrieben vom Bauraum der Komponenten, der Insassenpositionierung, dem Design und der funktionalen Auslegung der Derivate.

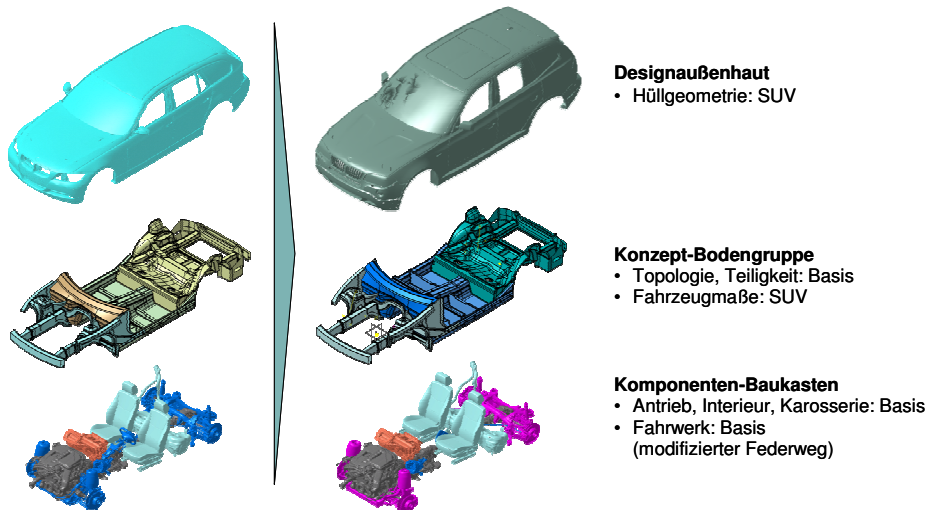


Bild 6-2: Ableitungsvorgehen für SUV Szenario 1: maximale Kommunalität.

Im ersten Schritt des Ableitungsvorgehens erfolgt eine Anpassung des Exterieurmaßkonzepts für die Längen-, Breiten- und Höhenmaße über Parameteränderungen in den Schnitten der PaKoBG. Die dabei verfehlten Maßziele werden aufgezeigt und diskutiert. Im nächsten Schritt wird das Maßkonzept des Interieurs zuerst für die Positionierung des Fahrers und der Passagiere in den Steuerschnitten angepasst. Die entsprechenden Lösungsvorschläge zur Erreichung dieser Maßvorgaben werden von Seiten der Karosserie sowie von Seiten der Komponenten erarbeitet und es werden Vorschläge zur Vermeidung von Zielkonflikten und Maßverfehlungen gegeben. Abschließend erfolgt die Bewertung der Wirtschaftlichkeit und der Maßzielerreichung und die Berechnung der Derivateableitungskennzahl, um die Auswirkungen der geänderten Maßaspekte in den Einzelszenarien zu einander gewichten zu können.

### Längen-Maßkonzept Exterieur

Gemäß der in **Tabelle 6-1** aufgeführten Längenzielmaße werden in der PaKoBG des SUVs die Parameter in den Steuerschnitten des Models (Baustein A1) eingestellt.

Das Ergebnis der Längenmaßenanpassungen ist in **Bild 6-3** zu ersehen.

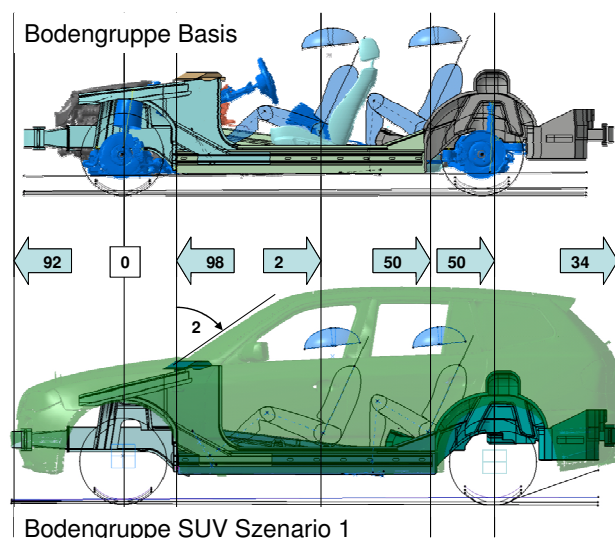


Bild 6-3: PaKoBG mit Längenmaßen der SUV Bodengruppe

In der operativen Umsetzung werden hierfür die Maße im Steuerschnitt bei  $y = 0\text{mm}$  verändert. Im Anhang ist dieser Steuerschnitt in **Bild-Anhang 2** gezeigt und referenzierend zu den Veränderungen der Steuerparameter ist in **Tabelle-Anhang 2** die mit Hilfe der Auswerte-Routine erstellte Auflistung der Steuerparameter im Vergleich zwischen dem Touring und dem SUV-Derivat abgebildet.

### *Geometriebewertung und Kommunalität*

Die Anpassung des Radstands (L101) erfolgt über eine kommunale Verschiebung des gesamten Hinterbaus um  $x = +50\text{mm}$ . Das Bodenblech mit Tunnel sowie die Tunnelschließbleche werden für diese Veränderung entsprechend der Kommunalitätslogik im Modell synergetisch gestreckt. In der realen Umsetzung würden diese Bauteile somit als Synergiebauteile mit einem differenzierten Beschnitt ausgeführt. Entsprechend des Deltawerts im Radstand werden über die Referenzierung im Modell auch das Fahrwerk hinten und die Kraftstoffversorgungsanlage um 50 mm in x-Richtung verschoben, um die entsprechende Positionierung im Fahrzeug zu erhalten.

Die parametergesteuerte Differenzierung der vorderen Überhanglänge (L104) wird auf Basis der kommunalen Motorträger über eine spezifische Länge der Deformationselemente dargestellt. Diese Maßnahme ermöglicht eine spezifische Auslegung im Front-Aufprall (siehe KRAMER [73] „Gesetzliche und Ratinganforderungen“) entsprechend der für ein SUV zu prognostizierenden höheren Crashlasten.

Die Differenzierung des hinteren Überhangs (L105) erfolgt durch die im Modell gesetzte Referenzierung ebenfalls über eine spezifische Länge der Deformationselemente. Entsprechend des spezifischen Designs müssten in einer realen Entwicklung die Geometrie der Heckabschlussbleche neu gestaltet werden. Davon wurde in der vorliegenden Bewertung abgesehen.

Die Sitzposition von Fahrer und Beifahrer wird im Modell durch eine kommunale x-Positionierung der Sitzquerträger realisiert. Das geringe Delta von 2mm im Abstand von Radmittelpunkt vorn zu R-Punkt vorn (L114) wird über das Sitzverstellfeld ausgeglichen.

Die Verschiebung der Windlaufplatte (LW) in x-Richtung um -98 mm zwischen SUV und Touring bewirkt in der Konstruktion eine starke Differenzierung des Stirnwandoberteils. Diese ist erforderlich, um die Maßdifferenz zwischen dem kommunalen Stirnwandunterteil und der neuen Windlaufplatte überbrücken zu können. In einer nachgelagerten Bauraumuntersuchung müssen hier die Bauräume der Scheibenwaschanlage und der Luftführungen überprüft werden. Ebenso müssen aufgrund der verschobenen A-Säulenlage Sichtwinkeluntersuchungen angestoßen werden. Im Weiteren erfordert der geänderte Scheibenneigungswinkel (H122) und die design-spezifische Scheibenbombierung eine zusätzliche Differenzierung des Windlaufs.

Die automatische Auswertung der Bauteilkommunalität sowie die Bewertung der Schweißumfänge im Karosseriebau ist verdichtet in **Tabelle-Anhang 3** dargestellt.

## **Weiten-Maßkonzept Exterieur**

### *Geometriebewertung und Kommunalität*

Durch die Prämisse der Erzeugung einer möglichst kommunalen Karosseriestruktur und die damit einhergehende kommunale Verwendung der Fahrwerkskomponenten der Basis können die Zielwerte für den Radstand vorne W101 und hinten W102 nicht erreicht werden. Diese werden mit einem Delta von ca. 120 mm deutlich unterschritten.

Die Breitenmaße der Karosserie werden im Folgenden, wie in **2.4.5** beschrieben, über die Bau-

teile des Karosseriegerippes auf Basis der kommunalen Bodengruppe erzeugt. Siehe hierzu **Bild 6-4**.

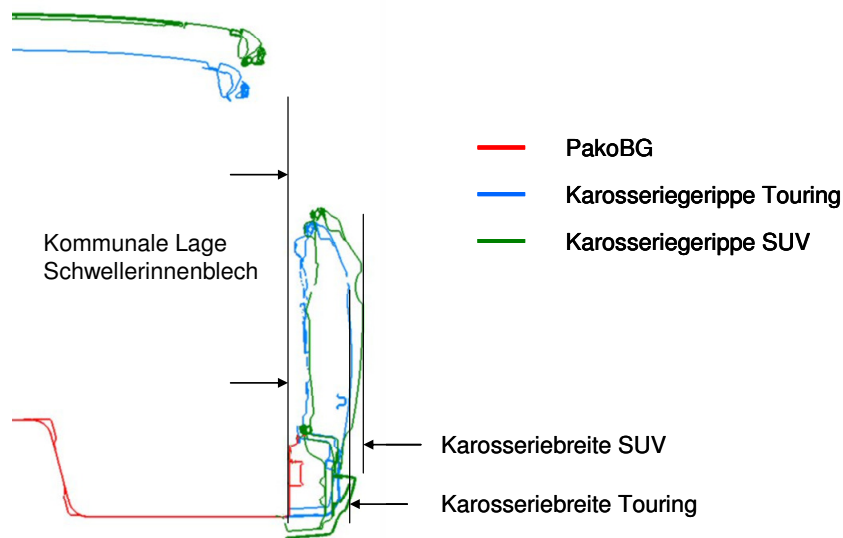


Bild 6-4: Breitendifferenzierung im Karosseriegerippe (x-Schnitt Fahrer-R-Punkt)

Das Karosseriegerippe schließt dabei an einer zur Basis kommunalen Breitenlage des Schwellerinnenblechs an die Bodengruppe an. Diese Art der Breitendifferenzierung hat somit keine Auswirkung auf die Kommunalität der Karosseriebodengruppe.

### Höhen-Maßkonzept Exterieur

Die Maße der Bodenfreiheit (H157) und der Überhangwinkel vorne und hinten (H106 und H107) werden für das erstellte SUV-Szenario mit den gesetzlichen Vorgaben (Zielmaßen) für Off-Road Fahrzeuge verglichen. Wie in Abschnitt 5.3.1 beschrieben, ermöglicht hierbei die CAD-Applikation CAVA eine Überprüfung und Visualisierung der gesetzlich geforderten Maße (**Bild 6-5**).

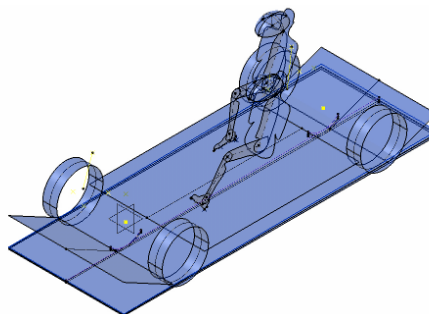


Bild 6-5: Darstellung der Radgröße, Spurweiten, der Bodenfreiheiten, Böschungswinkel und Manikin mit der CAD-Applikation CAVA

### Geometriebewertung und Kommunalität

Unter der Prämisse einer maximalen Kommunalität in der Karosseriestruktur ist eine Anpassung des Parameterwerts für den maximalen Raddurchmesser von  $d_{R \text{ Basis}} = 634\text{mm}$  auf  $d_{R \text{ SUV}} = 702\text{mm}$  im gegebenen Bauraum der Radhäuser nicht möglich. Mit einem ähnlichen Verfahren zur Kinematik und Elastokinematik Optimierung wie von HEIBING [50] beschrieben, wird der maximale in der Karosserie packagebare Raddurchmesser entsprechend der Kinematikpunkte über die automatisch erstellten Raderhebungskurven auf einen Wert von



$d_{R \max} = 658\text{mm}$  bestimmt. Siehe hierzu **Bild 6-6**.

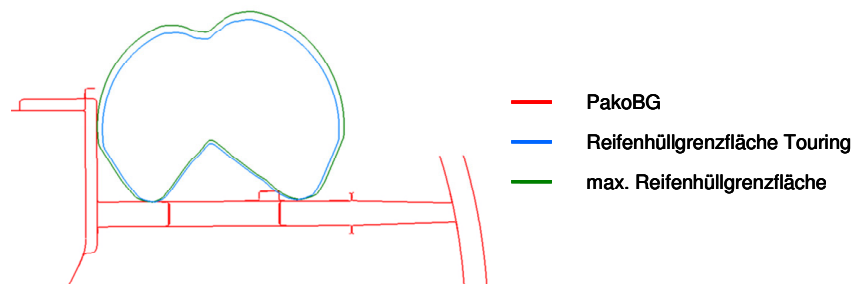


Bild 6-6: Ergebnis der Kinematik- und Bauraumuntersuchung für einen max. Raddurchmesser bei kommunaler Bodengruppe (z-Schnitt auf Höhe Motorträgermitte)

Die unter diesen Prämissen maximal erzielbare Bodenfreiheit (H156) beträgt 164 mm und kann den Gesetzesanforderungen nicht genügen.

Die höchste Anforderung an die Bodenfreiheit für Offroadfahrzeuge stellen die Gesetzesgeber in den USA mit einer Mindestbodenfreiheit von 203,2 mm (8") [N7]. Die EG [N8] und Australien [N9] fordern lediglich 200 mm Bodenfreiheit. Die erzielte Bodenfreiheit ist somit um 39 mm geringer als der gesetzlich geforderte Zielwert für Geländefahrzeuge in den USA, siehe **Bild 6-7**.

In einer Überprüfung mit dem Karosseriegerippe wird entsprechend der geringen Radgröße ein vorderer und hinterer Überhangwinkel (H106 - H107), die den gesetzlichen Anforderungen für Offroadfahrzeuge nicht ausreichend genügen (**Bild 6-7**). Die im Szenario erzielten Überhangwinkel entsprechen den Richtlinien für konventionelle Pkw [N10]. Den Vorgaben für Offroadfahrzeuge mit mindestens  $H107 = 20^\circ$  kann lediglich der hintere Überhang genügen (Australien [N9], EG [N8], USA [N7]). Der vordere Überhang unterschreitet den Mindestwinkel von  $28^\circ$  in Australien und den USA ([N9], [N7]).

Der vordere und der hintere Überhangwinkel ist dabei laut Definition der kleinste Winkel in der Seitenansicht zwischen der Standebene des Fahrzeuges und einer Ebene, die den statischen Reifenhalmmesser ( $R_{\text{stat}}$ ) der ersten Achse tangiert und die den äußersten, tiefsten, festen Punkt des Fahrzeuges vor der Achse berührt.

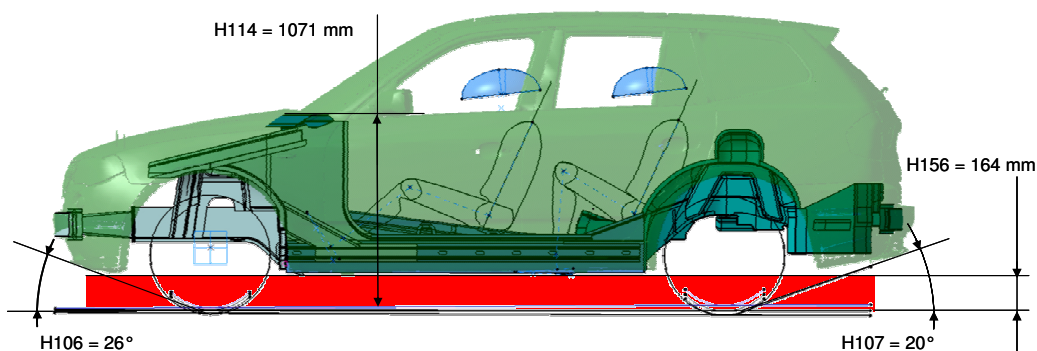


Bild 6-7: Bodenfreiheit, Böschungswinkel und Windlaufhöhe - SUV, Sitzposition Fahrer und Fond - Basis

Zur Erzielung der geforderten Bodenfreiheit und der Böschungswinkel ist es somit notwendig das Höhenniveau der Karosseriebodengruppe gegenüber der Straßenebene anzuheben. Für die Forderung einer maximalen Kommunalität in der Karosserie ist dies ausschließlich über eine Modifikation der Fahrwerkskomponenten möglich. Das Anheben der Karosseriestruktur erfordert eine erneute Anpassung der Windlaufhöhe H114 und eine Überprüfung des H-Maßkonzepts im Interieur.

## Anpassung Fahrwerk

Das modifizierte Fahrwerk basiert auf dem in **6.1** gezeigten Fahrwerk der Basis und zeichnet sich durch verlängerte Feder- und Dämpferelemente an Vorder- und Hinterachse aus, was eine höhere Bodenfreiheit ermöglicht. An der Vorderachse wird bei ML2 eine Absenkung des Radmittelpunkts um 40 mm eingestellt. Das Fahrwerk hinten erlaubt eine Absenkung des Radmittelpunkts um 46 mm (siehe **Bild 6-8**).

Messlast 2 entspricht dabei nach DIN 70020-1:2002-04 [N4] dem Konstruktionsgewicht, welches sich aus der Summe des Leergewichts (Messlast1) und der Sitzbelastung ergibt. Für 4- bis 5-Sitzer errechnet sich die Sitzbelastung aus zwei Personen vorn und einer Person in der zweiten Sitzreihe mit einem jeweiligen Insassengewicht von 68 kg.

Operativ mussten für diese Maßnahme die Referenzierungen in der Konstruktion der PaKoBG geändert werden. Eine Verlängerung der Federwege hätte in der Konstruktionslogik lediglich ein Anheben der Feder- bzw. Dämpferanbindungspunkte bewirkt. Die Federbeine wären somit in die Karosserie in z-Richtung hineingeschoben worden, anstatt die Karosserie kommunal anzuheben. Um das Fahrwerk, sprich die Radmittelpunkte absenken zu können wurden weitere Referenzpunkte in der PaKoBG eingeführt, die es erlauben die Radmittelpunkte der Vorder- und Hinterachse von der Karosserie sowie vom Koordinatenursprung zu entkoppeln.

### Baukasten-Fahrwerk

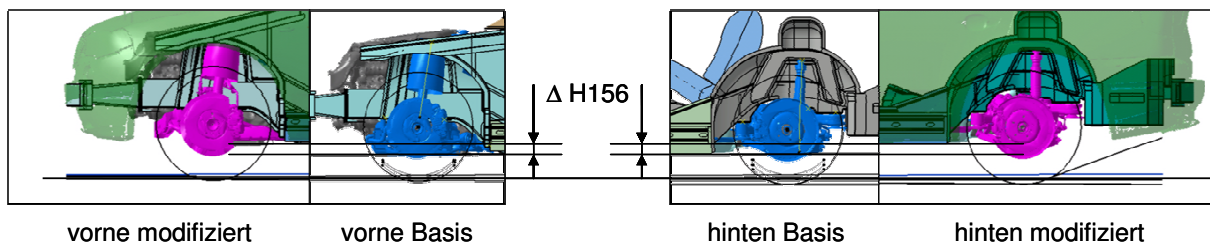


Bild 6-8: Differenzierung H156, H106 und H107 über modifiziertes Baukasten-Fahrwerk

### Geometriebewertung und Kommunalität

- Die geforderte Bodenfreiheit (H156) von mind. 203 mm für eine Light Duty Truck Zulassung in den USA wird trotz dieser Maßnahme unterschritten.
- Auch die geforderten Böschungswinkel vorne und hinten können für die Karosseriebodengruppe und das Karosseriegerippe nicht erreicht werden.
- Die Kommunalität in der Bodengruppe bleibt zu den Maßnahmen im vorherigen Maßblock unverändert.

### Maßkonzept Interieur und Kofferraum

Der Vergleich der Neu-Positionierung des Fahrers im SUV zur Basis anhand der y-Schnitte des Fahrer- und des Fond-Referenzpunkts, gezeigt in **Bild 6-9**, erlauben folgende Maßnahmen zur Ableitung des SUVs herzuleiten.



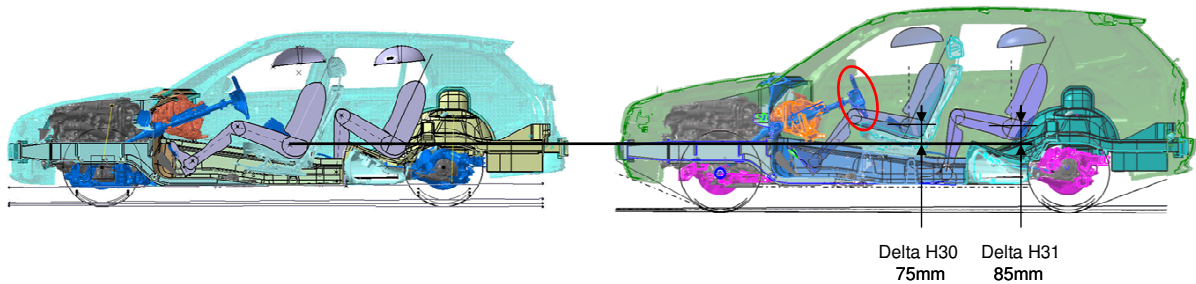


Bild 6-9: Höhen-Differenzierung im SRP 1. und 2. Sitzreihe zwischen Basis und SUV.

### Geometriebewertung und Kommunalität – 1. Sitzreihe

Die Anhebung der Sitzhöhe des Fahrers und des Beifahrers erfordert eine Anhebung der kommunalen Frontsitze (vgl. **Tabelle 6-2**) und somit eine Anpassung der Höhe der Sitzquerträger. In der karosserieseitigen Lösung werden hierbei die Parameterwerte des Basissitzquerträgers oder die der Adapterbauteile auf den Sitzquerträgern variiert. So werden entweder spezifische Sitzquerträger direkt auf das kommunale Bodenblech appliziert (siehe **Bild 6-10**). In der Projektanwendung werden die Sitzquerträger kommunal gehalten und durch spezifische Adapterbauteile überschuht.

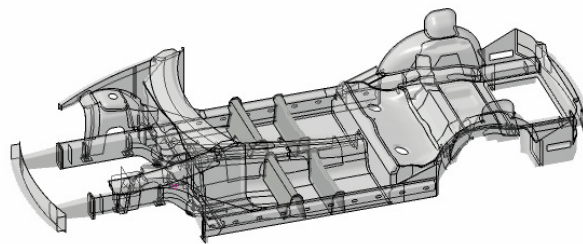


Bild 6-10: Differenzierte Sitzquerträger für SUV-Ableitung

Die Stirnwandkomponenten der Fahrer-Fahrzeugschnittstelle erfahren dabei folgende Maßnahmen:

Die Pedalerie sowie die Positionierung des Hauptbremszylinders können kommunal aus der Basis übernommen werden, wenn der Fersenpunkt zwischen SUV und Limousine kommunal gehalten wird. Voraussetzung hierfür ist, dass das SUV und die Basis die gleiche Wannentiefe<sup>15</sup> besitzen.

Die erhöhte Sitzposition im SUV erfordert aber eine entsprechende Anhebung der Lenkradposition, siehe **Bild 6-9**. Für eine kommunale Gestaltung der Stirnwand trotz unterschiedlicher Lenkradpositionen stehen hierbei mehrere Lösungsmöglichkeiten zur Auswahl. Kostengünstige Lösungen versprechen entweder ein Lenksäulendurchbruch als Langloch mit einer entspre-

<sup>15</sup> Wannentiefe: Höhe von der Schwelleroberkante bis tiefster Punkt Bodenblech

chenden Abdichtung oder spezifische Adapterplatten in einer kommunalen Stirnwandöffnung zur Realisierung der jeweiligen Lenksäulenpositionen. In der Konstruktion der PaKoBG müssen diese Änderungen an der kommunalen Basis in allen Derivaten nachgezogen werden. (Vgl. Abschnitt 5.3.5 „Steuerung der Derivateableitung über Adapter mit Steuerparametern“)

### *Geometriebewertung und Kommunalität – 2. Sitzreihe*

Die Anpassung der R-Punkthöhe in der zweiten Sitzreihe erfordert bei einer kommunalen Übernahme des Fersenblechs und des hinteren Bodenblechs zusätzliche Maßnahmen. Hier gestatten Adapterkonstruktionen die Rückbank höher zu positionieren, die den Fondpassagieren einen zusätzlichen Komfortaspekt in Form einer individuellen Sitzverschiebung bieten können.

In Breitenrichtung unterscheiden sich die R-Punkte in der zweiten Sitzreihe zwischen Touring und SUV um ein Delta von 20 mm. Bei der Ableitung des SUVs werden die R-Punkte der Passagiere im Fond über die kommunalen Hecklängsträger gehoben. Begrenzendes Element der y-Maßkette bilden nun die weiter außen liegenden Radhäuser. Die Vergrößerung des Abstands zwischen den Fondpassagieren ist somit anhand einer Analyse mit den ISO-Maniken für eine kommunale Übernahme der Karosserie problemlos durchführbar.

Die Breitenmaße im Kofferraum der SUV-Karosserie unterscheiden sich aufgrund der kommunalen Übernahme der Bauteile im Hinterbau im Vergleich zur Basis nicht. Die geforderte Durchladebreite (W202) kann somit nicht erzielt werden. Jedoch wird durch die geringe Radgröße und die niedrige Bodenfreiheit die Höhe des Ladebodens (H253) positiv beeinflusst und der geforderte Zielwert übererfüllt.

## Fazit Ableitung SUV – Szenario 1

### *Bewertung Kommunalität*

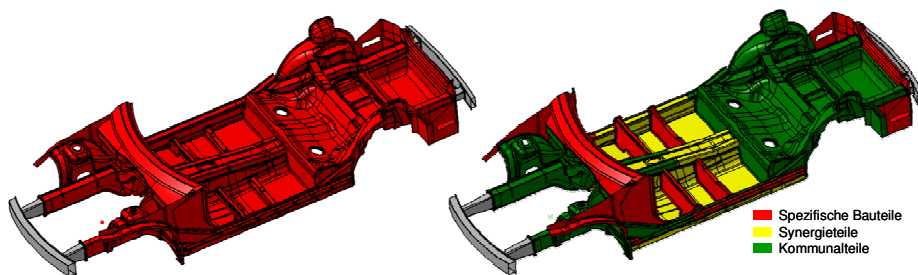


Bild 6-11: Kommunalität in der Bodengruppe für die Ableitung SUV-Szenario 1.  
l. Basis, r. SUV-Szenario 1.

In **Bild 6-11** ist der durch die Auswerteroutine ermittelte Kommunalitätsgrad mit einer Einfärbung der Karosseriebauteile graphisch dargestellt. Das Basisfahrzeug (links) entspricht dabei einer kompletten Neuentwicklung. Das abgeleitete SUV (rechts) zeigt die zur Basis kommunalen (grün), synergetischen (gelb) und spezifischen Bauteile (rot).

Wie in den Prämissen gefordert, ist die Karosseriebodengruppe des SUV mit einer hohen Kommunalität zur Basis abgeleitet. Die Übernahme des in den Anschlussbereichen kommunalen, vorderen Fahrwerks und des kommunalen Motorraumpackage erlaubt eine maximale Übernahme von kommunalen Bauteilen im Vorderbau. Differenzierungen werden vor allem wegen der veränderten Frontklappenlage an den Stützträgern des vorderen Radhauses erforderlich. Ebenso erfordert die differenzierte Lage und Form der Frontscheibe eine Differenzierung der Bauteile im oberen Bereich der Stirnwand. Aufgrund des kommunalen Stirnwandpackage kann das Stirnwandblech kommunal zur Basis übernommen werden. Wegen des größeren Radstands des SUVs im Vergleich zur Basis werden Differenzierungen im Mittelboden erforder-

lich. Dieser Längenausgleich zwischen der Basis und dem SUV wird über Synergieteile (vgl. **Kapitel 2**) abgebildet. Die erhöhte Sitzposition in der ersten Sitzreihe erfordert zusätzliche Differenzierungen an den Sitzquerträgern. Aufgrund der kommunalen Übernahme des Tanks und des hinteren Fahrwerks sowie der Überhangsdifferenzierung über die hinteren Deformationselemente kann der Hinterbau für dieses Szenario weitgehend unverändert zur Basis übernommen werden. Differenzierungen erfordern das spezifische Design der Karosserieaußenhaut im Bereich des Heckabschlussblechs und die seitlichen Gepäckraumböden. Alle spezifischen Bauteile werden aber als konzeptkommunale Bauteile so ausgeführt, dass sie für eine typflexible Fertigung im Karosseriebau in der gleichen Baufolge wie die Basis gefügt werden können.

In einer Zusammenfassung ist in **Tabelle 6-4** die jeweilige modulspezifische Verteilung von Kommunalteilen, Synergieteilen, spezifischen Bauteilen und der konzeptkommunalen Bauteile abgebildet, die über die automatische Auswerterroutine in **Baustein B** der Bewertungsmethodik ermittelt wurde. Diese Aufstellung ist untergliedert gemäß der Definitionen aus **2.4.3** und ist aus der Aufstellung in **Tabelle-Anhang 3** extrahiert.

Tabelle 6-4: Kommunalitätsbewertung Karosserieumfänge Bodengruppe SUV Szenario 1

	SUV - Szenario 1				
	1.1	1.2	1.3	1.4	Mittelwert
Kommunalteile	90%	25%	38%	100%	63%
Synergieteile	0%	0%	29%	0%	7%
Spezifische Bauteile	10%	75%	33%	0%	30%
Konzeptkommunale Bauteile	10%	75%	33%	0%	30%

### Geometrische Bewertung

Die Maßnahmen in der Karosserie sollen nun nach der in **Kapitel 5** definierten Logik bewertet werden. Dazu wird der Maluswert der Maßzielerreichung errechnet.

In **Bild 6-12** ist die Maßzielerreichung anhand der Einfärbung der bewerteten Karosseriemaße erkennbar. Aus dieser Aufstellung ergibt sich für die 33 Maßbewertungskriterien eine Anzahl von 14 Maluspunkten. Mit **Formel 5.19** errechnet sich bei einer einfachen Gewichtung der Einzelwerte ein Maluswert von 0,42. Als hervorzuhebende Maßzielverfehlungen sind die zu geringe Spurweite vorne und hinten, die zu niedrige Bodenfreiheit und die kleinen Böschungswinkel zu nennen. Auch zeigen sich Maßzielverfehlungen bei der Positionierung der Passagiere. Diese Maßzielverfehlungen resultieren aus der kommunalen Übernahme der Karosserieumfänge und der Komponenten aus der Basis. In **Tabelle-Anhang 4** sind die Änderungen am Maßkonzept des abgeleiteten SUVs im Vergleich zum Basisfahrzeug noch einmal zusammengefasst.

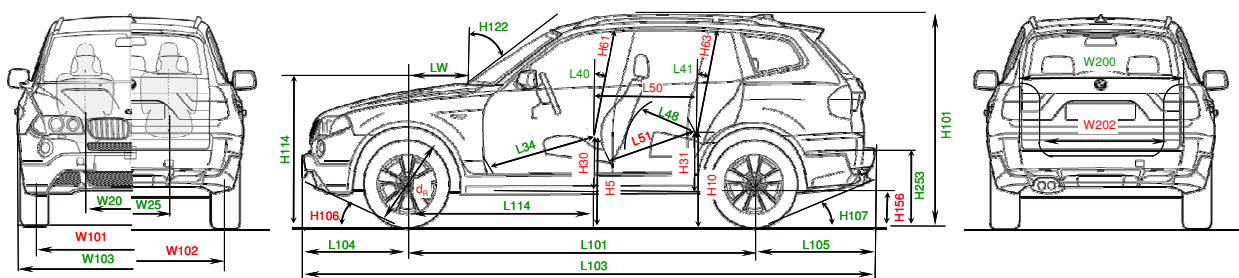


Bild 6-12: Maßzielerreichung SUV Szenario 1 (vergrößerte Darstellung siehe Bild-Anhang 3)

*Wirtschaftliche Bewertung*

Die wirtschaftliche Bewertung erfolgt, wie in **Kapitel 5** geschildert, auf Basis der automatisierten Kostenrechnung für die Investitions- und Herstellkosten im Presswerk und im Karosseriebau. Die Bewertung der Produktionsanlagen im Karosseriebau basiert auf den Vorgaben eines repräsentativen deutschen Produktionsstandorts. Für die Berechnung der übergreifenden Kapitalwerte werden folgende Prämissen gesetzt:

Der Produktionszeitraum je Derivat entspricht  $n = 7$  Jahren mit 220 Arbeitstagen pro Jahr. Es wird ein Kalkulationszinsfuß von  $i = 5\%$  veranschlagt, woraus sich ein Rentenbarwertfaktor von  $RBF = 5,7586$  ergibt. Die berechneten Kosten werden in den folgenden Ausführungen in einer prozentualen Angabe im Vergleich zum Basisfahrzeug angegeben. Siehe **Tabelle 6-5**.

Tabelle 6-5: Kostenbewertung SUV Szenario 1 in prozentualer Angabe.

	x Stückzahl [E/d]	Arbeitstage / Jahr [d/Y]	n Perioden [Jahre]	i Kalkulations- zinsfuß	RBF (7Jahre - 5%)
Basis	480	220	7	0,05	5,7586
SUV-Szenario 1	520	220	7	0,05	5,7586
<b>Summe</b>	<b>1.000</b>				

	Investition Umformung	Hk prop Umformung	Investition Karosseriebau	HK prop Karosseriebau	Kapitalwert
Basis	100%	100%	100%	100%	100%
SUV-Szenario 1	16%	105%	5%	100%	75%

*Wirtschaftliche Bewertung - Umformung*

Aufgrund der hohen Kommunalität in der Bodengruppe des ableiteten SUV können in Summe hohe Kostenpotenziale gehoben werden. So müssen für den Umfang an spezifischen Bauteilen und Synergiebauteilen zur Beschaffung der spezifischen Werkzeugsätze im Presswerk lediglich 16% der Investitionskosten der Basis aufgewendet werden. Positiv wirkt sich vor allem der große Anteil an großflächigen Synergiebauteilen im Mittelboden aus, für deren Erstellung im Presswerk lediglich zusätzliche Beschnittwerkzeuge beschafft werden müssen. Die Auslegung der Basisziehwerkzeuge geht dabei zu Lasten des Basisfahrzeugs. Die Streckung der Längen- und Höhenmaße des SUVs im Vergleich zur Basis schlägt sich aufgrund der gestiegenen Bauteilflächen in den proportionalen Herstellkosten der Blechumformung mit einer Mehrung von 5% nieder.

*Wirtschaftliche Bewertung - Karosseriebau*

Wie in Kapitel 2.5.2 beschrieben, erfolgt die Produktion der Karosserien im Karosseriebau auf typflexiblen Karosseriebauanlagen. Die Karosseriebauanlagen sind dabei auf die Summe der maximalen Tagestückzahl und auf das Derivat mit der höchsten Anzahl an Arbeitsinhalten (Anzahl an Schweißpunkten usw.) ausgelegt. Diese Auslegung geht dabei zu Lasten der Investitionskosten des Basisfahrzeugs. Die zusätzlichen Investitionskosten des Derivats resultieren aus der Flexibilisierung der Rohbauanlagen für die Fertigung des differenzierten Derivats. Aufgrund der hohen Kommunalität zwischen der Basis und dem SUV-Derivat in Szenario 1 belaufen sich die zusätzlichen Investitionskosten im Karosseriebau für die differenzierten Karosserieumfänge auf 5% der Grundinvestitionskosten. Da in der Ableitung des SUVs alle differenzierten Bauteile in der Konstruktion als Synergiebauteile oder konzeptkommunale Bauteile realisiert werden, sind die proportionalen Herstellkosten für die manuelle Tätigkeit der Werker zum Einlegen der Bauteile in den Fügestationen als gleichwertig einzustufen.

Wie in **Kapitel 5** beschrieben, enthält der durch die Methodik ausgewiesene Kapitalwert ausschließlich die Kostenseite für die Produktion in der Umformung und im Karosseriebau. Aus den Werten für Basis und Derivat in **Tabelle 6-5** lässt sich errechnen, dass der Kapitalwert der gesamten Produktionskosten des SUV in etwa 75% der Basis entspricht.

### Derivateableitungszahl

Die Derivateableitungskennzahlen ( $DAK_{Inv}$  und  $DAK_{Kw}$ ) errechnen sich wie in **Formel 5.20** und **5.21** beschrieben aus dem Maluswert der Maßzielverfehlung und dem Quotienten der Investitionskosten bzw. der Kapitalwerte von Derivat und Basis. Für das vorliegende Derivateableitungsszenario errechnen sich die folgenden Derivateableitungskennzahlen:

$$DAK_{Inv} = 0,52 \text{ und } DAK_{Kw} = 1,17.$$

## 6.2.2 SUV Szenario2 - Optimales Maßkonzept

### Prämissen

Im Gegensatz zu Szenario 1 wird in Szenario 2 die optimale Erfüllung der derivatspezifischen Maßziele in den Vordergrund gestellt. Aus dieser Forderung leiten sich die nachstehenden Prämissen ab:

- Optimale Erreichung der Maßziele (vgl. **Tabelle 6-1**).
- Kommunalitätsgrad in der Karosseriebodengruppe zur Basis entsprechend der Maßzielerfüllung.
- Kommunalitätsgrad der Komponentenübernahme entsprechend der Maßzielanforderungen.
- Gemeinsame Fertigung von Basis und Derivat auf typflexiblen Karosseriebauanlagen.

### Ableitungsvorgehen

Aus diesen Forderungen wird das in **Bild 6-13** gezeigte Ableitungsvorgehen generiert.

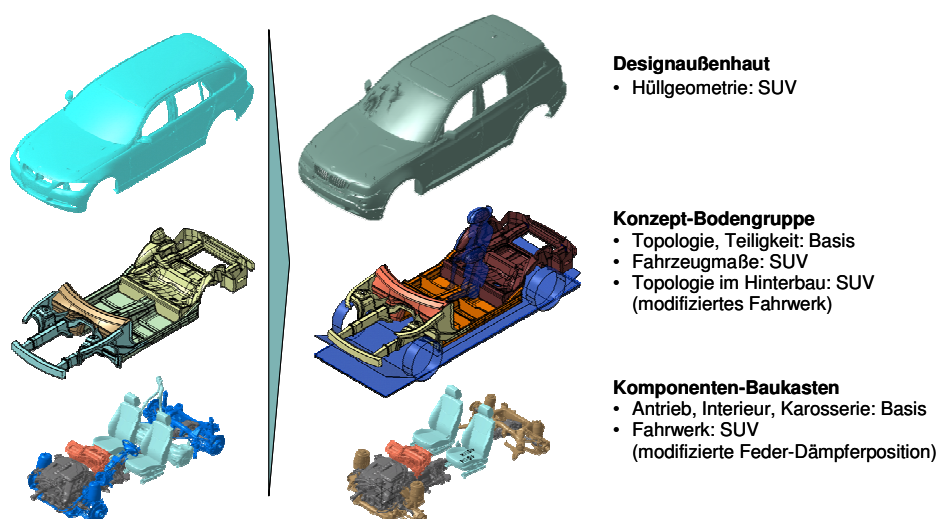


Bild 6-13: Ableitungsvorgehen für SUV Szenario 2: optimales Maßkonzept

Die Integration der geforderten Raddurchmesser und Spurweiten in die Karosseriestruktur mit der Forderung nach einer hohen Geländegängigkeit bei einer gleichzeitig sportlichen Fahrdy-



## 6. Validierung der Bewertungsmethodik

namikauslegung wird durch neukonzipierte Fahrwerkskomponenten realisiert. Dies erfordert in der Karosseriestruktur starke topologische Modifikationen im Bereich des Vorderwagens und des Hinterbaus, siehe **Bild 6-13**. Das für dieses Ableitungsszenario alternativ verwendete vordere Fahrwerk, beschrieben in **Tabelle 6-2**, basiert wie das der Basis auf dem Konzept einer Zweigelenk-Federbein-Vorderachse jedoch mit einer veränderten Dimensionierung. Hierbei bewirkt vor allem die an die Zielwerte angepasste vordere Spurweite ( $W_{101}$ ) eine geänderte Lage der Federbeinanbindung. Die Verschraubung des Vorderachsträgers an den Motorträgern sowie die Lage und Dimensionierung der Motorträger sollen aber gegenüber der Basis nicht verändert werden, um ein zur Basis kommunales Motorraumpackage darstellen zu können.

Das in der Basis verwendete hintere Fahrwerk entspricht einer Fünflenkerachse mit *getrennter* Feder- und Dämpferanbindung. Das alternativ in diesem Szenario eingesetzte hintere Fahrwerk basiert auf einer Fünflenkerachse mit *integriertem* Federdämpferbein. Um das Federdämpferbein in der Karosseriestruktur der PaKoBG mit den geforderten Raddurchmessern packagen zu können, werden deutliche Veränderungen an der Topologie des gesamten Hinterbaus erforderlich. Die geforderten Maßziele für den Raddurchmesser, die Spurweiten, die Bodenfreiheit und die Überhangwinkel können durch diese Maßnahmen erzielt werden.

Die Stirnwand mit Package sowie der Mittelboden werden analog zu Szenario 1 maximal kommunal aus der Basis abgeleitet. Die Differenzierung der äußeren und inneren Breitenmaße für Karosseriebreite und Insassenpositionierung erfolgen analog zu Szenario 1. Die Dimensionierung der Interieurmaße im Kofferraum resultiert aus den geänderten Maßketten im Hinterbau.

### Differenzierungen im Vorderbau

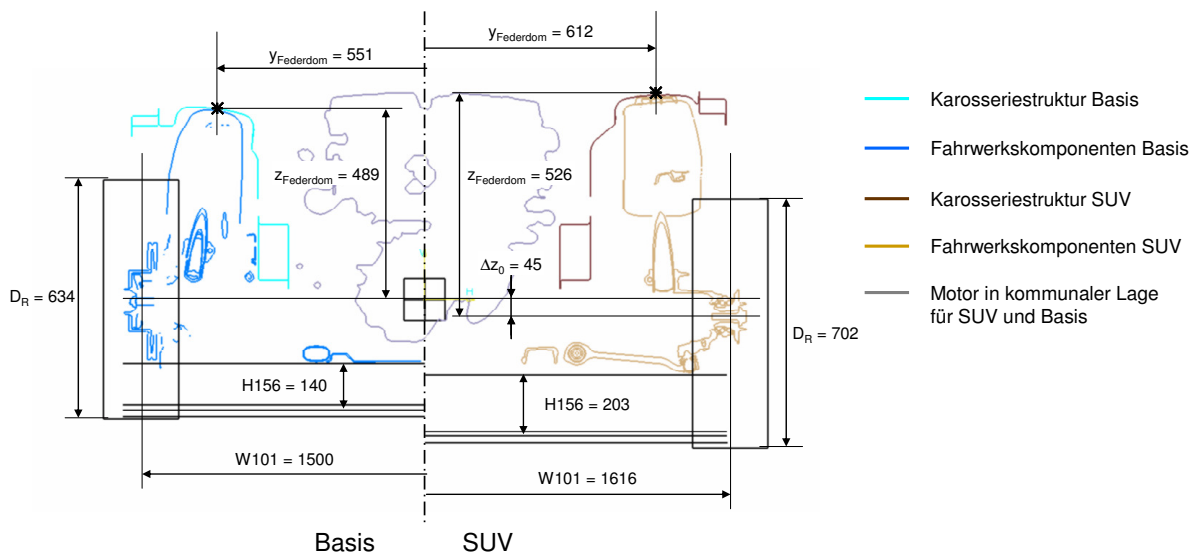


Bild 6-14: Differenzierte Maßketten im Vorderbau durch Modifikation des vorderen Fahrwerks.

Wie in **Bild 6-14** gezeigt, wird durch den Einsatz der modifizierten Zweigelenk-Federbein-Vorderachse die geforderte vordere Spurweite  $W_{101}$  erreicht. Weiterhin wird mit der modifizierten Dimensionierung des Federdämpferelements zusätzlich die Integration der geforderten Radgröße  $D_R$  möglich, wodurch auch die geforderte Mindestbodenfreiheit von  $H_{156}$  und der vordere Böschungswinkel  $H_{106}$  realisiert werden können. Bezogen auf die Maßketten der Basis wandert mit der modifizierten Geometrie des vorderen Fahrwerks nicht nur der vordere Radmittelpunkt um entsprechende x-, y- und z-Werte im Fahrzeugkoordinatensystem, sondern es wird auch entsprechend einer optimalen Fahrwerkskinematik der obere Anschraubpunkt des Federdämpferbeins in der Karosserie über den Fahrwerksadapter neu platziert. Siehe ebenfalls **Bild 6-14**. Diese Neupositionierung des Feder-Dämpferbeins ist in den Bauräumen der Basiskarosserie nicht kommunal darstellbar und bewirkt somit eine Änderung der Federstütze, des Rad-

hauses, des Stützträger Radhaus, der äußeren A-Säule sowie der Trennwand zum Aggregate- raum. Durch die Verwendung der Konstruktionsmethodik der PaKoBG lassen sich diese Modifi- kationen allein über die Variation entsprechender Parameterwerte bewerkstelligen. Parallel zur Neupositionierung der vorderen Radhäuser werden auch die Stützträger an in ihrer Dimensio- nierung an die gestiegenen Radlasten des SUV angepasst. Im Rahmen des Forschungspro- jekts orientiert sich die Dimensionierung der Stützträger in einer ersten Näherung an dem SUV- Referenzfahrzeug. Im weiteren Projektgeschehen der Fahrzeugentwicklung werden diese ers- ten Dimensionierungen mit entsprechenden Steifigkeits- und Crashbewertungen basierend auf FEM-Analysen validiert.

### Differenzierungen im Hinterbau

Durch die Integration des alternativen hinteren Fahrwerks über den Fahrwerksadapter in die Karosseriestruktur werden die Zielwerte für Spurweite hinten ( $W_{102}$ ), Radgröße ( $D_R$ ), Boden- freiheit ( $H_{156}$ ) und Überhangwinkel hinten ( $H_{107}$ ) erreicht. Wie bereits beschrieben unterschei- den sich aber die räumliche Position der Verschraubungsstellen des Hinterachsträgers sowie die Positionierung der Feder- und Dämpferanbindungen an der Karosserie zwischen dem hinter- en Fahrwerk der Basis und dem alternativen Fahrwerk für die SUV-Ableitung deutlich.

Bei der Fünflenkerachse der Basis mit getrenntem Feder- und Dämpferbein bindet die Feder unter dem Längsträger zwischen dem vorderen und hinteren Querträger an einem Adapterblech an die Karosserie an. Der Dämpfer stützt die in den Radträger eingeleiteten Vertikalkräfte an der Oberseite des Radhauses im Verstärkungsblech-Radhaus ab. Das alternative Fahrwerk mit integriertem Federdämpferbein bindet hingegen in einem SUV-spezifischen Radhaus seitlich außen neben den Längsträgern auf Höhe der Längsträger-Oberkante an, siehe **Bild 6-15**.

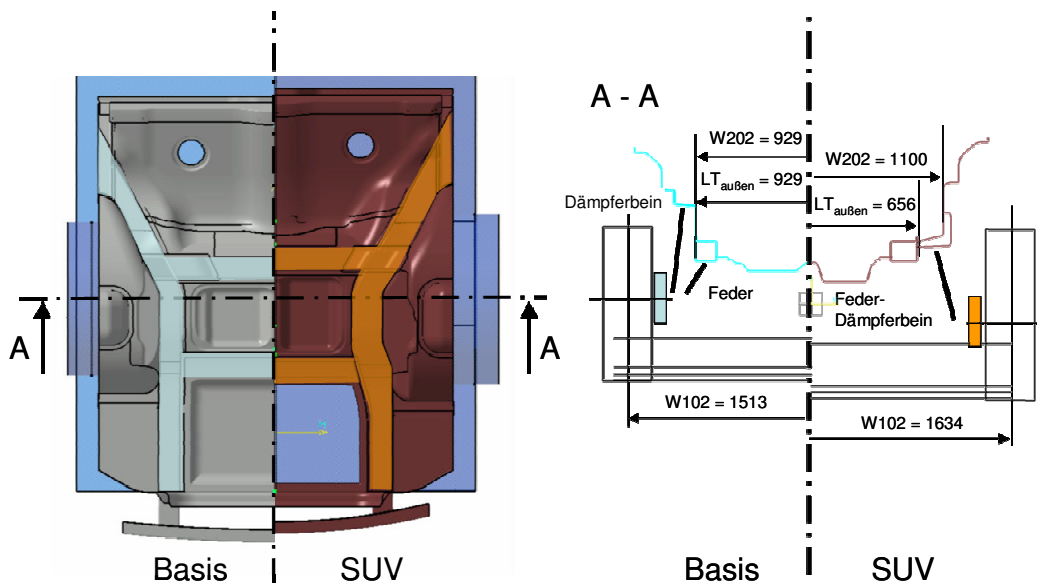


Bild 6-15: Differenzierte Maßketten im Hinterbau durch Verwendung eines alternativen Fahrwerks,  
li.: Draufsicht Hinterbau – Basis vs. SUV  
re.: Schnitt Hinterachse-Mitte – Basis vs. SUV

Durch die geänderte Feder-Dämpfer-Anordnung werden die Längsträger gegenüber der Basis weiter nach innen gedrückt, was zu einer Reduzierung der Breite des Hinterachsträgers führt. Entsprechend des größeren Raddurchmessers im SUV werden die Radhäuser in x- und z-Richtung vergrößert. Ebenso wird die Längsträgeranbindung am Schweller um einen entsprechenden Betrag in x-Richtung nach vorne verschoben um der gestiegenen Radgröße Rechnung zu tragen. Aufgrund der Forderung nach einer kommunalen Übernahme der Kraftstoffver- sorgungsanlage werden der Tank sowie die ihn umgebenden Karosseriebauteile wie das Fer-

## 6. Validierung der Bewertungsmethodik

senblech und das hintere Bodenblech in x-Richtung auch entsprechend nach vorne verschoben. In z-Richtung bewirkt die geringe Bauhöhe der Feder-Dämpfer-Anbindung eine Reduzierung der Breite des Radhauses gegenüber der Basis und ermöglicht somit eine Erweiterung der minimalen Durchladebreite (W202) auf der gesamten Höhe des Gepäckraums. Analog zum Vorgehen im Vorderbau werden die Profilquerschnitte im Hinterbau ebenfalls aufgrund der höheren Fahrzeuglasten entsprechend der Vorgaben des Referenzfahrzeugs erhöht, was zu einer zusätzlichen Differenzierung der Bauteilgeometrien führt, siehe hierzu **Bild 6-15**.

Wie aus **Bild 6-15** deutlich zu ersehen ist, hat sich durch diese Maßnahmen die Topologie der Tragstruktur und somit die Formgebung aller Bauteile in Hinterbau weitgehend verändert. Die Umsetzung dieser starken geometrischen Variationen basiert aber ebenfalls wie die geometrischen Veränderungen im Vorderbau lediglich auf einer gezielten Steuerung der Bauteilgeometrien über die Parameterwerte der PaKoBG.

Derart umfangreiche Topologieänderungen erfordern wie in **5.3.3** im Abschnitt „Geometrieerstellungsprozess“ beschrieben, eine tiefgehende vorgelagerte Bauteilanalysephase um in der umgesetzten Konstruktion reibungsfreie Update-Vorgänge garantieren zu können.

### Fazit Ableitung SUV - Szenario 2

#### Geometrische Bewertung

Wie in den Prämissen gefordert, ist dieses Szenario mit dem Fokus auf die Darstellung eines optimal erfüllten Maßkonzepts erstellt. Wie aus **Bild 6-16** und **Tabelle-Anhang 4** zu ersehen ist, werden entsprechend dieser Forderung von den 33 zu bewertenden Maßzielen nur drei nicht erfüllt und mit Maluspunkten belegt. Dementsprechend errechnet sich bei einer einfachen Gewichtung der Einzelwerte ein Maluswert von 0,09.

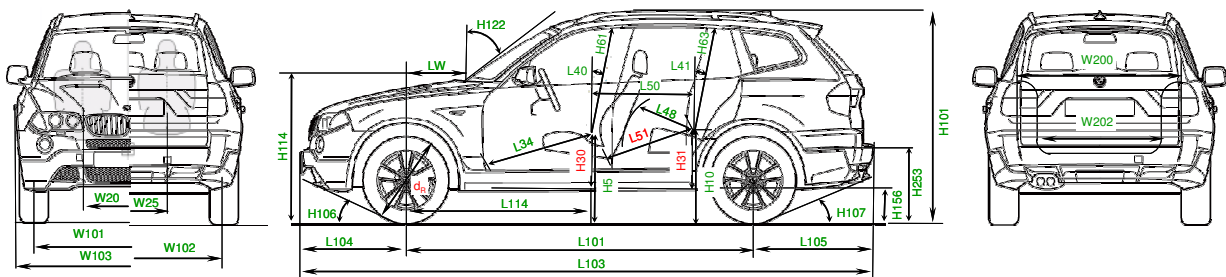


Bild 6-16: Maßzielerreichung SUV Szenario 2 – optimales Maßkonzept.  
(vergrößerte Darstellung siehe Bild-Anhang 3).

Die Maßzielverfehlungen beziehen sich in diesem Szenario ausschließlich auf die Positionierung der Insassen. Gemäß der Forderung nach einer entsprechend hohen Kommunalität in der Übernahme von Komponenten sowie Karosseriebauteilen werden in dem gezeigten Ableitungsszenario das Motorraum- sowie das Stirnwandpackage communal zur Basis übernommen. Mit der Übernahme der Motorträger, der Stirnwand und des Bodenblechs aus der Limousinen-Basis in eine SUV-Karosserie resultiert für den Geländewagen eine tiefe Bodenwanne und eine in x-Richtung zurück versetzte Stirnwand-Position. Diese Randbedingungen zwingt die mit der Applikation CAVA nach ergonomischen Gesichtspunkten positionierten Manikin in eine gegenüber den Zielwerten zu aufrechte Sitzposition. Im Detail ist wegen der tiefen Bodenwanne die Höhendifferenz zwischen Hüft- und Fersenpunkt (H30 und H31) zu groß und wegen der zurückversetzten Stirnwand ist der effektive Beinraum für die Fondpassagiere (L51) zu kurz. Für die Weiterentwicklung in einem Fahrzeugprojekt müsste an dieser Stelle die Diskussion zwischen einer Veränderung der Karosserieproportionen und den damit verbundenen Kosten oder einer Anpassung der Zielwerte geführt werden.



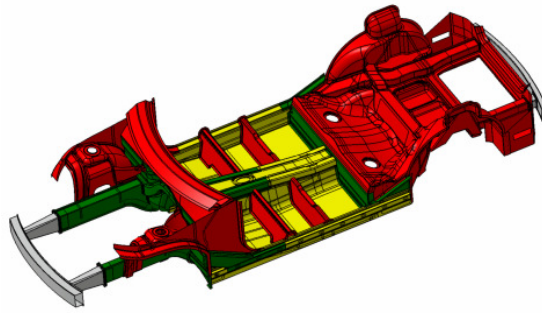
*Bewertung Kommunalität*

Bild 6-17: Kommunalität in der Bodengruppe für die Ableitung SUV-Szenario 2.

Wie in den vorherigen Ausführungen dargestellt, werden für die Erreichung eines optimalen Maßkonzepts in der Karosserie modifizierte bzw. alternative Fahrwerkskomponenten appliziert, welche weitreichende Differenzierungen an den Bauteilen der Karosseriestruktur des Vorder- und Hinterbaus bewirken. Die Komponenten des Motorraum- und Stirnwallpackages sowie die angrenzenden Karosserieumfänge werden aber kommunal aus der Basis übernommen. Die Differenzierung der Lenksäulendurchbruchhöhe an der Stirnwall sowie die Höhendifferenzierung der Sitzquerträger und die Längendifferenzierung im Unterboden für den SUV-spezifischen Radstand erfolgen analog dem Vorgehen in Szenario 1. In Summe ergibt sich durch diese Maßnahmen in der SUV-Karosserie ein Kommunalitätsgrad von lediglich 30% (vgl. **Tabelle 6-6**). Die Verteilung der Kommunalitäten ist in **Bild 6-17** dargestellt.

Tabelle 6-6: Kommunalitätsbewertung Karosserieumfänge Bodengruppe SUV Szenario 2

	SUV - Szenario 2				Mittelwert
	1.1	1.2	1.3	1.4	
Kommunalteile	46%	25%	38%	10%	30%
Synergieteile	0%	0%	38%	0%	9%
Spezifische Bauteile	54%	75%	25%	90%	61%
Konzeptkommunale Bauteile	54%	75%	25%	90%	61%

*Wirtschaftliche Bewertung*

Die wirtschaftliche Bewertung für dieses SUV-Szenario erfolgt mit Angaben bezüglich Stückzahlen, Produktionszeitraum, Arbeitstagen pro Jahr, Kalkulationszinsfuß und Rentenbarwertfaktor aus Szenario 1. Mit der zuvor geschilderten Kommunalitätsverteilung werden durch die automatisierte Auswerteroutine die in **Tabelle 6-7** aufgelisteten Investitions- und Herstellkosten sowie Kapitalwerte errechnet.

Tabelle 6-7: Kostenbewertung SUV Szenario 2 in prozentualer Angabe.

	Investition Umformung	Hk prop Umformung	Investition Karosseriebau	HK prop Karosseriebau	Kapitalwert
Basis	100%	100%	100%	100%	100%
SUV-Szenario 2	60%	108%	10%	100%	83%

*Wirtschaftliche Bewertung - Umformung*

Aufgrund der geringen Kommunalität in der Bodengruppe müssen für den Umfang an spezifischen Bauteilen und Synergiebauteilen für dieses Derivat zusätzlich 60% zu den Investitions-

kosten der Basis für die Anschaffung der spezifischen Werkzeugsätze im Presswerk aufgewendet werden. Wie in Szenario 1 wirkt sich aber auch in diesem Szenario der Anteil an großflächigen Synergiebauteilen im Mittelboden, für deren Erstellung im Presswerk lediglich zusätzliche Beschnittwerkzeuge beschafft werden, positiv aus. Die Streckung der Längen- und Höhenmaße im abgeleiteten SUV in Kombination mit den für höhere Lasten gesteigerten Profilquerschnitten werden mit einer Erhöhung der Materialkosten um 8% gegenüber der Basis berechnet.

### *Wirtschaftliche Bewertung - Karosseriebau*

Wie in den Prämissen gefordert, ist die Aufbau-logik des SUV-Derivats derart gestaltet, dass die Produktion auf typflexiblen Karosseriebauanlagen vorgenommen werden kann. Da die spezifischen Karosseriebauteile in der Konstruktion der PaKoBG allein aus der Änderung von Parameterwerten resultieren, können sie dieser Anforderung genügen (vgl. **Tabelle 6-6**). Wie in Szenario 1 sind die Karosseriebauanlagen auf die Summe der maximalen Tagestückzahl und auf das Derivat mit der höchsten Anzahl an Arbeitsinhalten ausgelegt. Daher wird die Mehrung von ca. 300 Schweißpunkten im SUV-Derivat zu Lasten der Investitionskosten des Basisfahrzeugs gelegt. Die gestiegenen Herstellkosten für das Derivat von in Höhe von +10% beziehen sich auf die Flexibilisierung der Rohbauanlagen für die stark differenzierten Umfänge im Vorder- und Hinterbau.

### *Derivateableitungszahl*

Zusammenfassend erzielt dieses Szenario für die Ableitung eines SUV-Derivats unter der Prämisse eines optimalen Maßkonzepts die Derivateableitungskennzahlen:

$$DAK_{Inv} = 0,40 \text{ und } DAK_{Kw} = 0,92.$$

## 6.2.3 SUV Szenario 3 - Solitär

Das dritte Szenario stellt die Bewertung eines als Solitär entwickelten und gefertigten SUV-Fahrzeugs dar und soll in der Gesamtbewertung einen Gegenpol gegenüber der Entwicklung von Produktfamilien-Derivaten bilden. Die ermittelten Kostenwerte dieses Szenarios basieren auf einer Extrapolation der bereits ermittelten Kosten sowie auf Neuberechnungen. Für die Erstellung der Kostenwerte sind die folgenden Prämissen gesetzt:

- Das Fahrzeug erzielt die Maßzielwerte in vollem Umfang. Der Maluswert ist somit gleich null.
- Die Investitionskosten in der Umformung entsprechen der Basis. (Eine gleiche Anzahl an Bauteilen in der Bodengruppe wie in den vorherigen Szenarien wird somit vorausgesetzt).
- Aufgrund der absoluten Maßzielereichung wird bezüglich der  $HK_{prop}$  in der Umformung ein gleicher Materialeinsatz wie im SUV-Szenario 2 angenommen.
- Die Investitionskosten für den Karosseriebau werden mit der Bewertungsmethode des Karosseriebaus neu ermittelt. Einganggröße sind die singulären Stückzahlen und die spezifischen Fügeinhalte aus dem SUV-Szenario 2. Für dieses Szenario wird somit die Fertigung mit den Stückzahlen und Fügeinhalten des SUVs im Sinne einer Solitärfertigung neu berechnet.
- Aufgrund der Annahme einer gleichen Bauteilanzahl zwischen SUV und Basis sind die  $HK_{prop}$  im Karosseriebau gleich der in den anderen Szenarien angesetzten Herstellkosten.

Berechnet man den Kapitalwert für dieses Szenario mit den gesetzten Prämissen und unter Verwendung der Angaben für Stückzahlen, Arbeitstage, Laufzeit und Verzinsung aus **Tabelle 6-5** durch die Bewertungsmethodik, so ergibt sich im Vergleich zum Basisfahrzeug ein prozen-

tualer Wert für die Investitionskosten von 108% und ein Kapitalwert von 110%.

Zwar beschreibt dieses Szenario faktisch keine Derivateableitung, die Derivateableitungskennzahl kann aber dennoch mit der beschriebenen Methodik berechnet werden. Die Derivateableitungskennzahlen lauten für das Szenario 3 somit:

$$DAK_{Inv} = 1,08 \text{ und } DAK_{KW} = 1,10.$$

## 6.2.4 Fazit Ableitung SUV

Anhand der konstruktiven Umsetzung von SUV Szenario 1 und 2 kann bestätigt werden, dass die in **Kapitel 5** beschriebene Konstruktionsmethodik es dem Konstrukteur ermöglicht über die gezielte Eingabe von Parameterwerten in der parametrisch assoziativen Bodengruppe die Bauteilgeometrien an die Bedürfnisse der jeweiligen Derivate anzupassen. So erlaubt die Konstruktionsmethodik zum Einen die Kommunalität bzw. die Kommunalitätslogik der Produktfamilie in die jeweiligen Derivate zu übertragen und zum Anderen erlaubt sie die Proportionen und zusätzlich die Topologien der Derivate stark zu verändern. Kommunale Bauteilumfänge werden trotz der Differenzierung benachbarter Bauteile rückwirkungsfrei in die Derivate übertragen. Bei Derivaten, die nur eine geringe Bauteilkommunalität zur Basis aufweisen, bleibt durch die Konstruktionsmethodik die Konzeptkommunalität der Bauteile für eine Fertigung auf typflexiblen Karosseriebauanlagen gesichert. Weiterhin konnte bestätigt werden, dass die mit der Konstruktionsmethodik entstandenen Geometrien in einem konventionellen Entwicklungsprozess verwendet werden können und Bauraumuntersuchungen sowie die Anpassung an gesetzliche Vorschriften erlauben. Abschließend wurde nachgewiesen, dass die in **Kapitel 5** beschriebenen Auswerteroutinen eine automatische Erstellung von Kostenbewertungen bezüglich Investitions- und Herstellkosten in der Umformung und im Karosseriebau für die Basis und die jeweiligen Derivate gestatten.

## Vergleich der Szenarien

Tabelle 6-8: SUV Szenarien im Vergleich.

SUV -Ableitung	Maluswert Maßziele	Wertung	Investkosten- Quotient	Kapitalwert- Quotient	Wertung	DAK Invest	DAK Kapitalwert	Wertung
Szenario 1 - max. Kommunalität	0,42	3	0,10	0,75	1	0,52	1,17	2
Szenario 2 - opt. Maßkonzept	0,09	2	0,31	0,83	2	0,40	0,92	1
Szenario 3 - Solitär	0,00	1	1,08	1,10	3	1,08	1,10	3

### SUV Szenario 1 – maximale Kommunalität

Betrachtet man in **Tabelle 6-8** den Maluswert für Szenario 1 so zeigt sich, dass mit dem hohen Kommunalitätsgrad auch eine hohe Maßzielverfehlung einhergeht. Die Quotienten von Investitionskosten und Kapitalwert der jeweiligen Szenarien bescheinigen aber, dass Szenario 1 in Bezug auf die Einmalaufwände als das erfolversprechendste Szenario zu bewerten ist. So benötigt das in Szenario 1 dargestellte Derivat den geringsten Mehraufwand an Investitionskosten und über die Stückzahlen und spezifischen Herstellkosten zeigt sich der geringste Quotient im Kapitalwert. Betrachtet man die Derivateableitungskennzahlen, in denen der Maßzielerreichungsmalus und die Kostenquotienten enthalten sind, so rangiert Szenario 1 in der Gesamtwertung an zweiter Stelle.

Eine Ableitung eines SUV-Derivats mit der Prämisse einer maximalen Kommunalität bietet sich somit nur an, wenn die Maßziele sich von der Produktfamilien-Basis nicht stark unterscheiden.

Dieses Szenario bietet somit ein geringes Differenzierungspotenzial in der Karosserie, kann dafür aber in der Produktion ausgeprägt kostengünstig angeboten werden.

### *SUV Szenario 2 – optimales Maßkonzept*

Dieses Szenario erzielt die beste Gesamtbewertung über die Derivateableitungskennzahlen. Es stellt somit den besten Kompromiss aus Maßzielerreichung und Kostenaufwand dar. Gegenüber Szenario 1 müssen aber für die starken Differenzierungen in der Karosseriestruktur dieses SUV-Derivats erhöhte Mehraufwände getrieben werden. Hier stellt sich die Frage nach der Gewichtung exklusiver bzw. individueller Proportionen der einzelnen Fahrzeuge im Unternehmen. Werden solche Differenzierungen vom Markt honoriert, so ist eine solche Derivateableitung als optimal anzusehen.

### *SUV Szenario 3 – Solitär*

Die Entwicklung einer solitären Karosseriebodengruppe ist nur bedingt für die Erstellung eines SUV-Derivats zu priorisieren. Zwar können die Maßzielwerte vollständig erreicht werden, jedoch werden in Vergleich zu Szenario 2 die möglichen Kostenpotenziale nicht gehoben und schmälern in Summe die Margen des Produkts. Dieses Szenario stellt sich lediglich als zielführend heraus, wenn das SUV aus Kapazitätsgründen in der Produktion auf eigenständigen Produktionsanlagen ohne Typenflexibilität gefertigt werden muss oder entsprechend hohe Absatzzahlen prognostiziert werden.

## **Ergänzung**

Sind die Differenzierungen zwischen den Bauteilen der Derivate zu groß, um sie allein über eine intelligente Konstruktion und eine entsprechende Parametrik abzufangen, hat sich in der Projektanwendung die parallele Erstellung von Detailkonstruktionen als zielführend herausgestellt. So werden die zu differenzierenden Bauteile in der Eindokumententechnik der PaKoBG entsprechend der geforderten Geometrien parallel aufgebaut und gemäß der Verwendung in den jeweiligen Derivaten ein- oder ausgeblendet. Hierdurch entsteht ein erhöhter Modellpflegeaufwand, da die parallelen Bauteilgeometrien jeweils bei Veränderung ihrer Elterngeometrien updatefähig gehalten werden müssen. In der Umsetzung in frühen Projektphasen erlaubt dieses Vorgehen aber, trotz der starken topologischen Änderungen zwischen den Produktfamilienderivaten die kommunalen Bauteile zu sichern, sowie die Aufbau-logik der Karosserie für den Karosseriebau kommunal zu halten. Diese erweiterte Konstruktionslogik der PaKoBG sichert somit einen konzeptkommunalen Aufbau der Bauteile für einen typflexiblen Karosseriebau.

## **6.3 Ableitung Roadster**

Wie in 6.1 beschrieben, dient der BMW Z4 Mj. 2009 als Basis für die Maßzielbewertung der erstellten Roadster-Szenarien. Die Karosserieproportionen dieses Roadsters sind mit einem KIRP-Wert von 0,69 als „klassisch“ zu bezeichnen (vgl. 2.3.1 im Abschnitt „Roadster“). Diese Karosserieproportionen unterscheiden sich deutlich von den Proportionen einer konventionellen Limousine mit Standardantrieb und stellen daher für die Ableitung des Roadsterderivats im Rahmen einer Produktfamilie eine deutliche Anspannung dar. Das Erreichen klassischer Roadsterproportionen ist für die folgenden Szenarien als oberste Prämisse gesetzt und wird in der Malusbepunktung der Maßzielerreichung mit einem gesonderten Gewichtungsfaktor belegt.

Wie bereits in Kapitel 2.3.4 im Abschnitt „Karosseriebauformtypische Packageproportionen“ beschrieben, unterscheiden sich die Proportionen des klassischen Roadsters von denen einer

konventionellen Limousinenkonstruktion deutlich. In **Bild 6-18** ist dieser Proportionsvergleich dargestellt.

### Status Konzeptdifferenzen

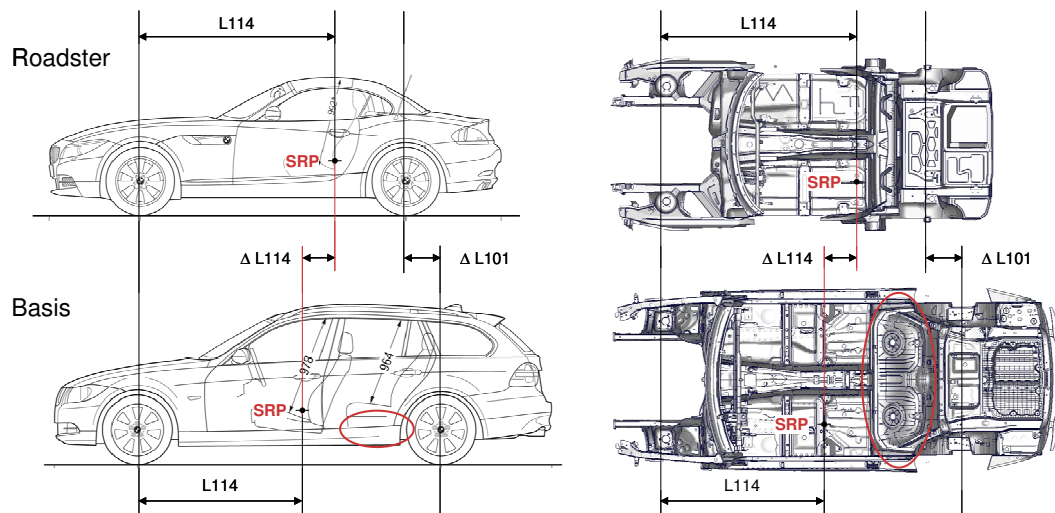


Bild 6-18: Vergleich Konzeptdifferenzen von Roadster und Basis  
(li. Seitenansicht Gesamtfahrzeug, re. Draufsicht Bodengruppe)

#### Vorderbau und Stirnwand

Wie schon in **Kapitel 2.3.1** beschrieben, zeichnet sich der Karosserieaufbau eines Roadsters mit klassischen Proportionen durch einen langen Vorderwagen und eine weit zurück versetzte Sitzposition des Fahrers direkt vor der Hinterachse aus. Diese Proportionen erfordern gegenüber der Basis einen langen Vorderbau mit langen Motorträgern, eine weit vorne angesetzte Vorderachse und eine zurückversetzte Stirnwand. Für die Ableitung des Roadsterderivats auf Basis eines kommunalen Motorraum- und Stirnwandpackages stellen sich diese Proportionen als schwierige Anforderung heraus. Zusätzlich zeichnet sich der Roadster durch eine geringe Brüstungshöhe aus, was in einer Derivateableitung kommend von einer konventionellen Limousine den Bauraum für das Heiz-Klima-Gerät im Stirnwandpackage spürbar reduziert.

#### Unterboden und Hinterbau

Bedingt durch die Zweisitzigkeit hat der Roadster einen deutlich kürzeren Radstand (L101) als die Limousine. Der Unterboden ist daher relativ kurz gehalten und schließt direkt nach den Vordersitzen ab. Viele klassische Roadsterkonzepte verbauen einen senkrecht stehenden Tank, der nach oben fast bis zur Brüstungslinie reicht, um die Hinterachse möglichst nahe an den Sitzen positionieren zu können. Eine kommunale Übernahme der Kraftstoffversorgungsanlage aus der Basis, wie in Abschnitt **2.4.1** für den Nissan 350Z und den Audi TT beschrieben, kann dieser Anforderung nicht genügen, vgl. **Bild 6-18**. Den Hinterbau eines Roadsters kennzeichnet ein relativ kurzer Überhang (L105) der lediglich den Anforderungen des Verdeckkastens, des Überrollschutzes und eines kleinen Gepäckraums genügen muss. Wie in einer konventionellen Cabrioableitung müssen auch in der Ableitung eines Roadsterderivats ein Verdeckkasten und ein Überschlagschutzsystem im Hinterbau der Bodengruppe gepackaged werden.

### Prämissen Roadsterableitung

Im weiteren Vorgehen ist die Ableitung des Roadsterderivats für die Proportionen eines klassischen Roadsters vorzunehmen. Aus dieser Anforderung leiten sich für die zu erstellenden

Roadster-Szenarien folgende Prämissen ab:

- Darstellung eines KIRP-Werts deutlich größer als 0,6 für klassische Roadsterproportionen.
- Langer Abstand zwischen Vorderachse und Fahrer-SRP (L114).
- Sehr kurzer Radstand (L101).
- Zweisitzigkeit.
- Integration Überrollschutz und Verdeckkasten.
- Sehr kurzer Überhang hinten (L105).
- Niedrige Brüstungshöhe.

### 6.3.1 Roadster Szenario 1 - Maximale Kommunalität

#### Prämissen

Wie in Szenario 1 der SUV-Ableitung wird ein hoher Übernahmegrad bezüglich der Komponenten und der Blechteile aus der Basis gesetzt:

- Maximaler Kommunalitätsgrad in der Übernahme der Komponenten.
- Übernahme des Dachsystems aus dem Referenzfahrzeug.
- Maximaler Kommunalitätsgrad in der Karosseriebodengruppe zur Basis unter Beachtung des KIRP-Werts.
- Erzielen einer entsprechend hohen Anzahl an Zielmaßen.
- Fertigung auf typflexiblen Karosseriebauanlagen.

#### Ableitungsvorgehen

Das aus den Prämissen resultierende Ableitungsvorgehen ist in **Bild 6-19** dargestellt und soll im Folgenden weiter detailliert werden.

##### *Bodengruppe*

Um einen hohen Kommunalitätsgrad bezüglich der Komponentenübernahme als auch in der Bodengruppe erzielen zu können, wird für dieses Szenario wie in den Wettbewerbsanalysen beschrieben, das Motorraum- und Stirnwallpackage sowie das vordere Fahrwerk kommunal aus dem Komponenten-Baukasten der Produktfamilie eingesetzt, siehe **Bild 6-19**. Weiterhin wird in einer ersten Annahme auch die Sitzposition in der ersten Sitzreihe kommunal zur Basis angeordnet. Somit kann die Karosseriestruktur des Vorderbaus, der Stirnwall sowie des Unterbodens weitgehend kommunal adaptiert werden. Die zu differenzierenden Bauteile werden synergetisch oder konzeptkommunal dargestellt. Um einen möglichst kurzen Radstand zu erhalten, wird der vertikal stehende Tank aus einem Referenz-Roadster übernommen. Dies erlaubt das kommunal aus der Basis übertragene hintere Fahrwerk weit vorne in Fahrzeug-x-Richtung anzuordnen. Die Struktur der hinteren Längsträger und des hinteren Querträgers wird dabei kommunal aus der Basis übernommen. Die Karosseriestruktur im Bereich des alternativ eingesetzten Tanks muss dabei neu gestaltet werden. Zusätzlich werden in die Karosseriestruktur roadsterspezifische Bauteilumfänge wie Verstärkungen, ein Überrollschutz und ein Verdeckkasten integriert.

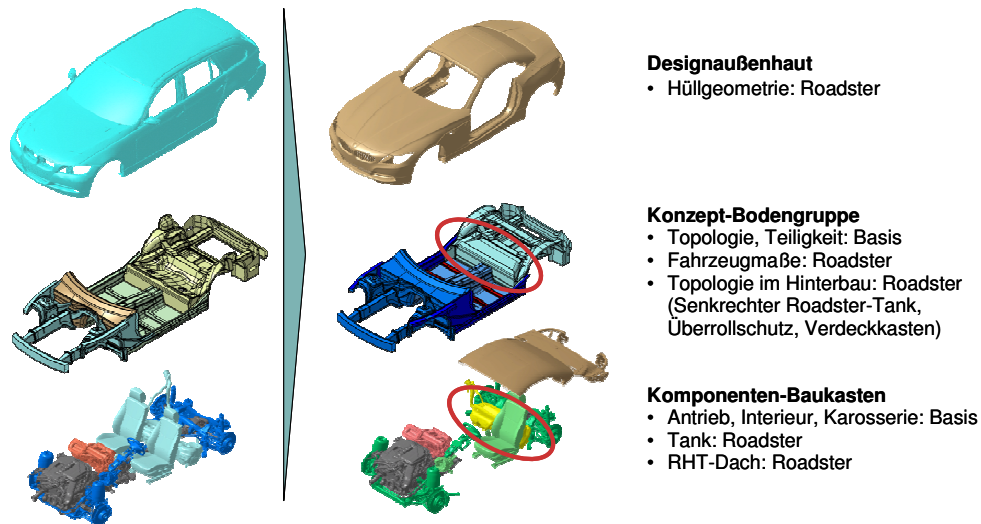


Bild 6-19: Ableitungsvorgehen für Roadster-Szenario 1: maximale Kommunalität.

In der operativen Umsetzung in der PaKoBG werden die zu differenzierenden Bauteile des Vorderbaus, der Stirnwand und des Unterbodens sowie die zu übernehmenden Bauteile des Hinterbaus über Steuerparameter angepasst. Die stark differenzierten Blechbauteile im Bereich des Tanks sowie die zusätzlich integrierten Bauteile für den Überrollschutz und den Verdeckkasten werden in der PaKoBG neu konstruiert. So wird die Bodengruppe um eine Verstärkung in der A-Säule, Überrollbügel über dem Tank, ein spezifisches Fersenblech, ein spezifisches hinteres Bodenblech, einen spezifischen Querträger, eine Blechdomstrebe am hinteren Radhaus sowie um Schottbleche im Schweller ergänzt, siehe **Bild 6-20**.

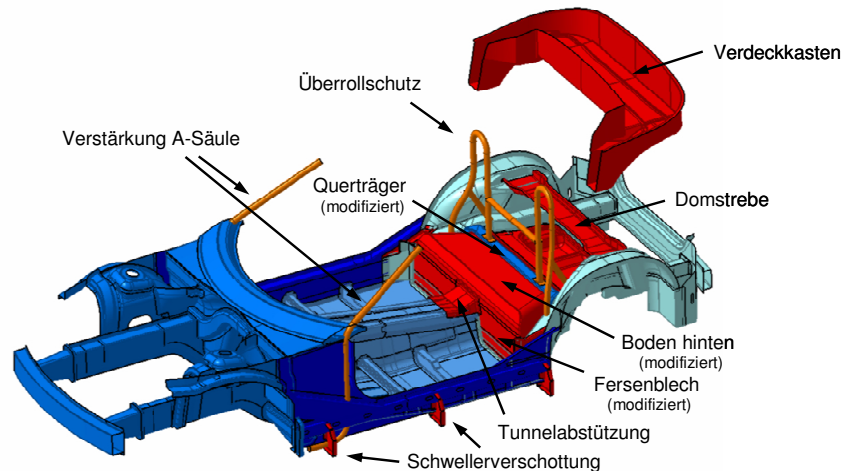


Bild 6-20: Ableitung Roadster, modifizierte und addierte Bauteile.

### Karosseriegerippe

Im Gegensatz zu den SUV-Ableitungsszenarien müssen zusätzlich zu den Veränderungen an der Karosseriebodengruppe auch Veränderungen an den Proportionen des Karosseriegerippes vorgenommen werden. Wie aus **Bild 6-21** zu ersehen ist, ist die Sitzposition in der aus der Limousine abgeleiteten Bodengruppe nicht kompatibel zu der originären Position des Greenhouses im Roadster-Karosseriegerippe. So zeigt sich ein zu geringer Abstand zwischen der Position des Lenkrads und der Frontscheibe. Ein ausreichender Greifraum sowie die Anordnung der Fahrerinstrumente in der Instrumententafel können nicht sicher gestellt werden. Weiterhin zeigt sich eine eindeutige Verletzung der Kopffreiheit im Bereich des oberen Windlaufs und des Dachs.



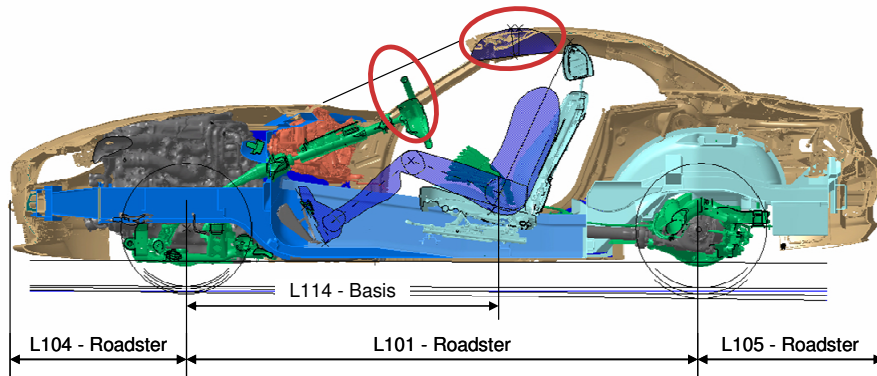


Bild 6-21: Maximal kommunal abgeleitete Roadster- Bodengruppe mit unverändertem Karosseriegerippe.

Legt man das Karosseriegerippe der Basis und das des Roadsters in einem Schnitt bei  $y = 0 \text{ mm}$  übereinander, so zeigt sich eine Differenz von 225 mm zwischen der Scheibenwurzel der Basis und der des Roadsters. Für eine ausreichende Erfüllung der Fahrerergonomie wird in diesem Szenario im Folgenden das Greenhouse bestehend aus der Frontscheibe, den A-Säulen sowie dem Dachsystem mit Mechanik und Verdeckkasten um diesen Betrag in der Fahrzeug-x-Richtung nach vorne verschoben. Die Bauteilgeometrien des Windlaufs und des A-Säulenfußes müssen dabei in der PaKoBG assoziativ an diese Verschiebung mit angepasst werden. Weiterhin wird die Sitzposition des Fahrers um 45 mm abgesenkt, um der geforderten Kopffreiheit eines 95-Perzentil Manikin weitgehend zu genügen. Entsprechend wird die Höhe der Sitzquerträger angepasst. Ebenso werden die Geometrien der vorderen Seitenwände und der Frontklappe an diese Verschiebung angepasst. Wie in **Bild 6-22** zu erkennen ist, haben sich dadurch die Proportionen des Roadsterderivats gegenüber dem Zielfahrzeug deutlich verschoben.

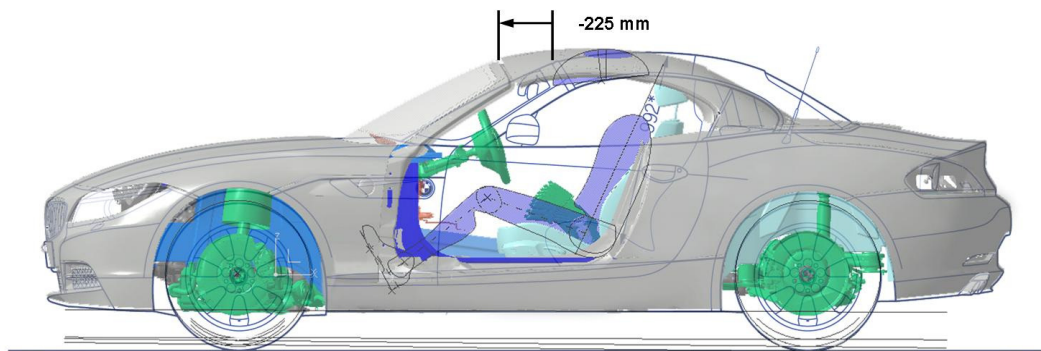


Bild 6-22: Roadster mit angepassten Proportionen (grau)  
Original-Silhouette im Hintergrund.

## Fazit Ableitung Roadster - Szenario 1

### Geometrische Bewertung

Die Exterieur-Maßziele (Überhanglängen, Radstand und Spurweiten) für die Karosseriebodengruppe können in diesem Szenario weitgehend erfüllt werden. Da die Karosserie-Fahrwerks-Kombination kommunal aus der Basis übernommen und daher auf die Bodenfreiheit (H156) einer Limousine ausgelegt ist, kann diese den Roadster-Maßzielen bezüglich einer niedrigen Bodenfreiheit und geringen Böschungswinkeln (H106 und H107) nicht genügen. Aufgrund der kommunalen Übernahme des Vorderwagen- und Stirnwallpackages und den entsprechenden Karosseriebauteilen zeigen sich auch deutliche Verfehlungen bei den Interieurmaßen. Vor allem in Bezug auf die Interieur-Längenmaße ergeben sich aus der kommunalen Stirnwallposition



und den an ihr angeordneten Komponenten große Zielabweichungen in der Fahrerpositionierung. Dabei wird der Abstand zwischen der Vorderachse und dem SRP des Fahrers (L114) um einen Wert von 183 mm unterschritten. Dementsprechend wird auch aufgrund der verschobenen Position des gesamten Greenhouses der Wert der Windlaufage (LW) verfehlt. Der geforderte KIRP-Wert für klassische Roadster-Proportionen kann aber mit einem Wert von 0,61 knapp erreicht werden. Auch zeigen sich Engpässe in der Höhenmaßkette des Interieurs durch die Kommunalität. Eine Tieferlegung des Fahrwerks der Basis mit spezifischen Feder- und Dämpferelementen könnte hier Abhilfe verschaffen indem die Karosseriebodengruppe gegenüber dem Karosserierippe abgesenkt wird und den Insassen somit mehr Kopffreiheit zugestanden wird.

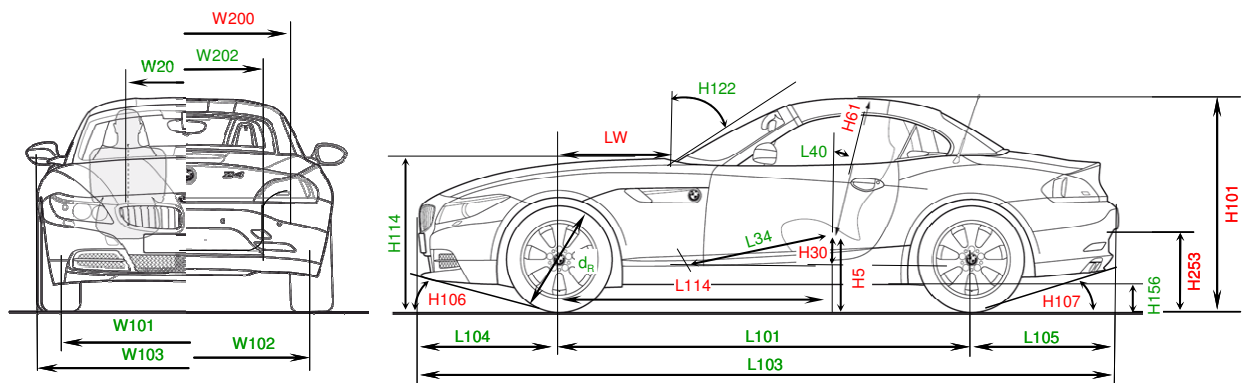


Bild 6-23: Maßzielerreichung Roadster Szenario 1 – maximale Kommunalität.  
(vergrößerte Darstellung siehe Bild-Anhang 4)

In **Bild 6-23** ist die Erreichung der Maßziele für das Roadster Szenario 1 zusammengestellt. Aufgrund der expliziten Prämisse die Erreichung des KIRP-Werts für klassische Roadster einzuhalten, sind die Werte für L114 und den KIRP mit einem Gewichtungskoeffizienten von 5 in der Malusbewertung belegt. Die Auswertung der geometrischen Zielwerte aus **Tabelle-Anhang 4** ergibt in Summe einen Maluswert von 0,58.

#### *Bewertung Kommunalität*

Eine hohe Kommunalität in der Karosserie wird, wie bereits erwähnt, durch die kommunale Übernahme des Motorraum- und Stirnwallpackages sowie der Sitzposition des Fahrers erzielt, siehe **Bild 6-24**. So können der Vorderbau zu 90% und der Unterboden zu 45% kommunal aus der Basis übertragen werden. Der Hinterbau wird hingegen wegen der differenzierten Proportionen und infolge der zusätzlich integrierten roadsterspezifischen Bauteile zu 54% aus spezifischen Bauteilen aufgebaut. Eine Zusammenfassung der mit Hilfe der Bewertungsmethodik aus der PaKoBG selbstständig ausgewerteten Kommunalitäten ist in **Tabelle 6-9** zusammengestellt. Die spezifisch für den Roadster hinzugefügten Bauteile sind in die Bewertungsroutine nicht integriert und somit in dieser Aufstellung nicht enthalten.

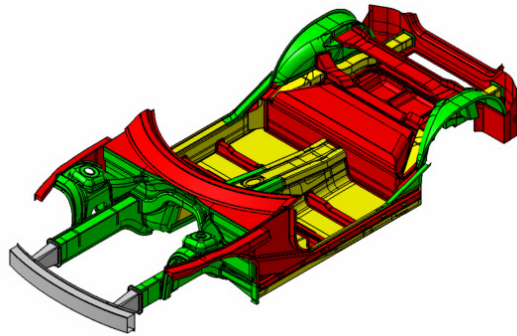


Bild 6-24: Kommunalität in der Bodengruppe für die Ableitung Roadster-Szenario 1.

Tabelle 6-9: Kommunalitätsverteilung Roadsterableitung – Szenario 1.

	Roadster - Szenario 1				
	1.1	1.2	1.3	1.4	Mittelwert
Kommunalteile	90%	25%	45%	32%	48%
Synergieteile	0%	0%	9%	8%	4%
Spezifische Bauteile	10%	75%	45%	60%	48%
Konzeptkommunale Bauteile	10%	75%	45%	60%	48%

*Wirtschaftliche Bewertung*

Tabelle 6-10: Kostenbewertung Roadster Szenario 1 in prozentualer Angabe.

	Investition Umformung	Hk prop Umformung	Investition Karosseriebau	HK prop Karosseriebau	Kapitalwert
Basis	100%	100%	100%	100%	100%
Roadster-Sz. 1	40%	95%	13%	167%	48%

*Wirtschaftliche Bewertung – Umformung*

Der relativ hohe Anteil an spezifischen Bauteilen im Hinterbau und die Realisierung der niedrigen Brüstungshöhe erfordern in der Umformung zusätzliche Investitionskosten für spezifische Werkzeuge, die in der Bewertungsmethodik in einer Höhe von 40% der Grundinvestition der Basisbodengruppe ausgewiesen werden, vgl. **Tabelle 6-10**. Als Anmerkung ist hierbei zu ergänzen, dass die cabriospezifischen Bauteile wie Überrollbügel mit Trägern und die Verstärkungen der A-Säule, wie bereits erwähnt, in der automatischen Auswertemethodik nicht abgebildet sind und somit in der Kostenaufstellung nicht erscheinen. Diese Bauteile müssten in einem Nachgang manuell zusätzlich addiert werden. Die Herstellkosten im Karosseriebau reduzieren sich um 5% gegenüber der Basis, gemäß der Materialeinsparung für den gekürzten Radstand und die geringe Brüstungshöhe.

*Wirtschaftliche Bewertung – Karosseriebau*

Der Karosseriebau verbucht laut der Bewertung über die aus der Konstruktion ausgelesenen Fügeinhalte eine Mehrung der Herstellkosten um 67% und einen Anstieg der Investitionskosten

um 13% für die Flexibilisierung der Anlagen und die Fertigung der cabriospezifischen Umfänge. Diese Umfänge, in Form der Überrollbügel mit Trägern und Verstärkungen sowie der Verdeckkasten, werden in einem speziellen Bypass gefertigt, um die Hauptlinie des Karosseriebaus zu entlasten. Die Herstellkostenmehrungen entstehen dabei hauptsächlich durch den erhöhten Werkereinsatz an den Einlegestationen, der in der Bewertung mit einem speziellen Gewichtungsfaktor für die Cabrioumfänge belegt ist. Die Investitionskosten für die spezifischen Umfänge im Karosseriebau erhalten im Hinterbau eine zusätzliche Gewichtung in Höhe von +25% und im Vorderbau in Höhe von +15%. Diese Gewichtung trägt der erweiterten Flexibilisierung der Hauptlinie sowie den cabriospezifischen Umfängen, die im Bypass gefertigt werden, Rechnung.

#### *Derivateableitungskennzahl*

In Summe erzielt dieses Roadster-Ableitungsszenario dargestellt in klassischen Roadsterproportionen unter der Prämisse eines maximalen Kommunalitätsansatzes die Derivateableitungskennzahlen:

$$DAK_{Inv} = 0,84 \text{ und } DAK_{Kw} = 1,05.$$

### **6.3.2 Roadster Szenario 2 - Solitär**

Im Vergleich zur eben gezeigten Roadster-Ableitung mit maximaler Kommunalität wird in diesem Szenario die Entwicklung eines solitären Roadsters mit optimaler Maßzielerfüllung rein rechnerisch aufgeführt. Wie in der Solitärbewertung für das SUV werden für dieses Szenario gesonderte Prämissen gesetzt:

- Keine Malusbewertung aufgrund einer optimalen Maßzielerfüllung.
- Übernahme der Investitionskosten der Umformung aus der Basis aufgrund der Annahme einer gleichen Teileanzahl wie in der Basis.
- Verwendung der umformspezifischen Herstellkosten aus Roadster Szenario 1 bezüglich der Annahme eines gleichen Materialeinsatzes wie in diesem Szenario.
- Die Investitionskosten für den Karosseriebau werden entsprechend der singulären Roadsterstückzahlen und unter Verwendung der Anzahl an Fügeinhalte neu ermittelt.
- Aufgrund der Annahme einer gleichen Bauteilanzahl sind die  $HK_{prop}$  im Karosseriebau gleich den zuvor ermittelten Werten.

Berechnet man den Kapitalwert für dieses Szenario mit den gesetzten Prämissen und unter Verwendung der Angaben für Stückzahlen, Arbeitstage, Laufzeit und Verzinsung aus **Tabelle 6-5**, so ergibt sich durch die Bewertungsmethodik im Vergleich zum Basisfahrzeug ein prozentualer Wert für den Kapitalwert von 67%.

Die Derivateableitungskennzahlen für dieses Szenario ergeben sich zu:

$$DAK_{Inv} = 0,79 \text{ und } DAK_{Kw} = 0,67.$$

### 6.3.3 Fazit Ableitung Roadster

Das Roadster-Szenario 1 belegt, dass die im Rahmen des Forschungsprojekts entworfene Entwicklungsmethodik nicht nur für Karosseriederivate mit stark geänderten Topologien (wie in SUV Szenario 2), sondern auch für Derivate mit einem hohen Anteil an zusätzlichen spezifischen Bauteilen angewendet werden kann. Bei der Konstruktion dieses Umfangs an zusätzlichen derivatspezifischen Bauteilen ist darauf zu achten, dass diese in die Kommunalitäts- sowie in die Parametersteuer-Logik der parametrisch assoziativen Bodengruppe mit integriert werden. Dieses Vorgehen stellt sicher, dass sich auch die zusätzlichen derivatspezifischen Bauteilumfänge an Änderungen in der kommunalen Basis anpassen. In der Umsetzung hat es sich dabei als zielführend herausgestellt, diese derivatspezifischen Bauteile in einem gesonderten Modellokument nach der Eindokumenten-Technik zu konstruieren. Dabei werden die für die Konstruktion der addierten Bauteile notwendigen Geometrien über Links aus der PaKoBG übergeben. So können diese Bauteile einfach an Versionierungen der kommunalen Basis angedockt werden. Hierfür muss lediglich die Verlinkung zwischen der Derivatbodengruppe und dem Modell mit den zusätzlichen derivatspezifischen Bauteilen auf die neueste Version der Bodengruppe ausgetauscht werden und die spezifischen Bauteile passen sich assoziativ an die Änderungen an der kommunalen Basis an.

### Vergleich der Szenarien

Tabelle 6-11: Roadsterszenarien im Vergleich.

Roadster - Ableitung	Maluswert Maßziele	Wertung	Investkosten- Quotient	Kapitalwert- Quotient	Wertung	DAK Invest	DAK Kapitalwert	Wertung
Szenario 1 - max. Kommunalität	0,54	2	0,30	0,48	1	0,84	1,02	2
Szenario 2 - Solitär	0,00	1	0,79	0,67	2	0,79	0,67	1

#### Roadster Szenario 1 – maximale Kommunalität

In Bezug auf die Anwendung der Bewertungsmethodik wurde in Szenario 1 gezeigt, dass mit einem angepassten Gleichteileansatz und einer direkten Übernahme der Komponenten aus der Basis die geforderten klassischen Roadsterproportionen knapp erreicht werden können. Der Kommunalitätsansatz in diesem Szenario bewirkt aber eine deutliche Abweichung in der Längemaßkette von optimalen Roadsterproportionen mit einem entsprechenden KIRP-Wert als auch Verfehlungen in der Höhenmaßkette für die Erfüllung der geforderten Komfortmaße der Insassen. Wie aus **Tabelle 6-11** hervorgeht, kann eine kommunale Roadsterableitung aber in Bezug auf die Investitionskosten und den Kapitalwert der Aufwendungen (zusammengefasst in den jeweiligen Quotienten) gegenüber einer solitären Fahrzeugentwicklung deutliche Vorteile erzielen. Aufgrund der gesetzten Prämissen und den hohen Maßzielverfehlungen kann der kommunale Ansatz aber in der Gesamtbewertung über die Derivateableitungskennzahlen gegenüber einer solitären Roadsterentwicklung keine Vorteile erzielen.

#### Roadster Szenario 2 – Solitär

Laut der Prämissen für Szenario 2 eröffnet die Darstellung des Roadsters als Solitärfahrzeug die Möglichkeit die Fahrzeugproportionen frei von den Zwängen einer Produktfamilie zu gestalten. Wie der Investitionskosten- und Kapitalwertquotient in der wirtschaftlichen Bewertung, gezeigt in **Tabelle 6-11**, bestätigen, sind jedoch für diese Gestaltungsfreiheit in der Karosserieentwicklung die entsprechenden Produktionskosten zu tragen. So zeigt sich vor allem eine Mehrung der Investitionskosten gegenüber der Produktfamilienableitung aus Szenario 1. Zusammenfassend in den Derivateableitungskennzahlen wird die Solitärentwicklung des Roadsters trotz der finanziellen Nachteile in der Produktion aufgrund des optimalen Maßkonzepts als das zielführende Konzept identifiziert. Erwirtschaftet ein solches Konzept am Markt aufgrund seiner

individuellen Proportionen die erforderlichen Absatzzahlen und Margen, so ist der zu tätigende Mehraufwand gegenüber einer Produktfamilienentwicklung durchaus gerechtfertigt.

### Ausblick zur Roadsterableitung

Die Entwicklung an den Hochschulen zeigt vermehrt einen Trend zu einer Fahrzeugsteuerung über mechanisch entkoppelte By-Wire-Systeme auf, die im Übrigen in der Luftfahrzeugindustrie seit Jahren Stand der Technik sind. Sind für zukünftige Fahrzeugentwicklungen die entsprechenden redundanten Sicherheitssysteme und Rückfallebenen derart in die By-Wire-Systeme integriert, dass diese den Gesetzesgebern genügen, so können dadurch in der Karosserieentwicklung enorme Kosteneinsparungspotenziale gehoben werden. Diese mechanische Entkopplung von Fahrer und Fahrzeug ermöglicht somit eine relativ freie Positionierung des Fahrers im Fahrzeuginnenraum. Die Realisierung einer kostengünstigen Roadsterableitung auf Produktfamilienbasis wie in Roadster-Szenario 1 ist somit auch unter Einhaltung optimal-klassischer Roadsterproportionen durchaus denkbar, siehe **Bild 6-25**

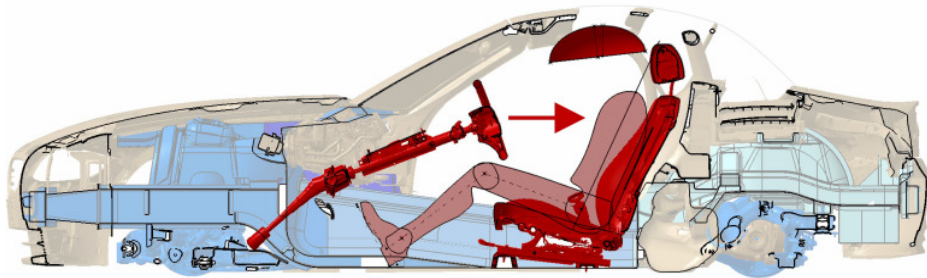


Bild 6-25: Optimale Fahrerpositionierung trotz zur Limousinenbasis kommunaler Stirnwandposition realisiert durch eine mittels By-Wire-Systeme entkoppelte Fahrer-Fahrzeugschnittstelle.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

### 7.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Erstellung und Bewertung von flexiblen Ableitungsszenarien für maßlich skalierte Karosseriederivate in Produktfamilien in frühen Entwicklungsphasen. Eingangs wird die aktuelle Situation am Automobilmarkt analysiert, die die Automobilhersteller zwingt einerseits eine Vielzahl an hochindividuellen Fahrzeugkonzepten in neuen Marktnischen anzubieten, um in der saturierten und durch die aktuelle Wirtschaftskrise deutlich angespannten Marktsituation die Gunst der Käufer zu erringen. Diese Situation nötigt die Automobilhersteller andererseits auch die aus der Individualisierung resultierende Variantenflut und die damit verbundene Kostenmehrungen durch entsprechende Standardisierungsansätze zu bekämpfen. Als Lösungsansatz wird in dieser Arbeit die skalierbare Plattform für Karosseriebodengruppen vorgestellt. Diese skalierbare Plattform erlaubt es den Standardisierungsansatz der Fahrzeugplattform auf die differenzierten Derivate trotz deren starker maßlicher Skalierungen zu übertragen. Für die Schaffung einer breiten Wissensbasis über die Skalierbarkeit in Karosseriebodengruppen werden verschiedene Bauweisen und Architekturen von Karosserien analysiert und die Differenzierung der Proportionen unterschiedlicher Karosseriebauformen anhand der extremen Beispiele Geländewagen, Limousine und klassischer Roadster gegenüber gestellt. Auch werden die notwendigen typflexiblen Produktionsprozesse in der Umformung und im Karosseriebau vorgestellt, die eine kostengünstige Produktion der Bodengruppen einer skalierbaren Plattform ermöglichen.

Als Hauptbestandteil der Arbeit wird eine Konstruktionsmethodik entwickelt, die es erlaubt den Standardisierungsansatz der Produktfamilie parallel auf alle Bodengruppen der maßlich zum Teil stark differenzierten Karosseriederivate zu übertragen. Die dafür notwendigen Grundlagen werden in einer Analyse parametrisch assoziativer Entwicklungsmethoden geschaffen. Dabei werden wissenschaftliche Ansätze, der allgemeine Konstruktionsprozess von Karosserien und parameter- sowie designgetriebene parametrisch assoziative Ansätze in der industriellen Karosseriekonstruktion analysiert und hinsichtlich ihrer Eignung zum Einsatz in einer skalierbaren Plattform bewertet. Für den Aufbau der Konstruktionsmethodik im Rahmen dieser Arbeit wird abschließend die Eindokumenten-Technik in Kombination mit einer entsprechenden Steuerung über Parameterwerte und übergeordnete Adaptermodelle gewählt und entsprechend qualifiziert. Diese Konstruktionsmethodik verfügt dabei über eine implementierte Standardisierungslogik, die über eine entsprechende Referenzierung von Steuerelementen die Darstellung der gewünschten Kommunalität in den abgeleiteten Derivaten erlaubt. Die Differenzierung und Skalierung der Derivatbodengruppen erfolgt allein durch eine Steuerung über wenige explizite Steuerparameter, die eine parametrisch assoziative Veränderung der gesamten Konstruktion bewirken. In Kombination mit einer entsprechenden Prozesslogik wird durch diese Konstruktionsmethodik die parallele Darstellung aller skalierten Derivate einer Produktfamilie ermöglicht. Zusätzlich können Änderungen an der standardisierten Basis in kurzer Zeit auf alle Derivate der Produktfamilie übertragen werden. Diese Methodik gestattet somit im Gesamtfahrzeugkontext eine Validierung des Standardisierungsansatzes für die Bodengruppen aller Derivate der Produktfamilie.

Um die mit der Methodik erstellten Karosseriederivate bezüglich ihrer Produktfamilientauglichkeit bewerten zu können, wird eine Bewertungsmethodik entwickelt, mit der die erstellten Karosseriebodengruppen automatisch hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und ihrer geometrischen Maßzielerreichung evaluiert werden. Die Funktionsweise der Bewertungsmethode basiert in einer starken Vereinfachung auf einer skriptbasierten Skalierung der Fertigungskosten eines Referenzfahrzeugprojekts. Die Basis bilden dabei die Investitions- und Herstellkosten für die Blechumformung und den Karosseriebau. Die Skalierung der Kosten erfolgt in der Bewertungsmethodik unter gewissen Rahmenbedingungen über die aus der Konstruktionsmethodik automatisch ausgelesenen Bauteilflächen und Fügeinhalte der zuvor erstellten Ableitungssze-

narien je Derivat. Finales Bewertungskriterium der Bewertungsmethode bildet die Derivateableitungskennzahl, die erlaubt unterschiedliche Derivate sowie verschiedene Ableitungsszenarien je Derivat miteinander zu vergleichen. Verglichen werden durch diese Kennzahl die Wirtschaftlichkeit und die geometrische Maßzielerreichung der erstellten Derivate.

Die vorliegende Arbeit zeigt somit einen gesamthaften Prozess für die Konstruktion und die wirtschaftliche sowie geometrische Bewertung von Karosseriebodengruppen in großen Produktfamilien basierend auf einer skalierbaren Plattform in frühen Phasen.

### 7.2 Reflektion

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich rein auf geometrische Aspekte der Derivateableitung sowie auf die Betriebswirtschaft der jeweiligen Derivateableitungsszenarien im Bereich der Bodengruppe. Eine Entwicklung von Derivaten in Produktfamilien ist aber ohne Beachtung der funktionalen Auslegung der Karosserien durch statische und dynamische Steifigkeiten, Akustik, Dauerfestigkeit und Crash nicht zulässig. Aufgrund des Bezugs dieser Arbeit auf sehr frühe Phasen in der Entwicklung von Produktfamilien ist diese Vorgehensweise gerechtfertigt, da in diesen Phasen die Entwicklungskapazitäten auf die Entwicklung einer konsistenten Ableitungs- und Gleichteillogik in den Bodengruppen der Karosserieplattform konzentriert werden.

Funktionale Bewertungen der Produktfamilienderivate erfolgen in sehr frühen Entwicklungsphasen üblicherweise an Vorgängermodellen oder modifizierten Berechnungsmodellen von Vorgängerfahrzeugen, die an die Proportionen der Derivate angepasst werden. Die funktionale Bewertung der aktuellen Derivatgeometrien kann im Produktentwicklungsprozess erst nach der Erstellung der dafür notwendigen gesamten Karosseriestrukturen und Gesamtfahrzeugmodelle durchgeführt werden. Der Prozess der funktionalen Auslegung wird derzeit durch die Verwendung von SFE CONCEPT mit einem vergleichbaren parametrisch assoziativen Modellaufbau, wie in der Arbeit beschrieben, deutlich beschleunigt. Die Entwicklung der Produktfamilienarchitektur wird jedoch im Entwicklungsprozess immer früher erfolgen als eine funktionale Auslegung, für die die gesamte Fahrzeugstruktur mindestens eines Derivats (für Steifigkeitsrechnungen) sowie die relevanten Komponenten (für Crashrechnungen) vorhanden sein müssen.

Der aktuelle Einsatz der vorgestellten Konstruktionsmethodik in zwei großen Produktfamilien bei BMW sowie die Adaption und Weiterentwicklung der Methodik auf Problemstellungen des alltäglichen Projektgeschäfts in interdisziplinären Teams bestätigen das Potenzial und die Praktikabilität der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konstruktionsmethodik.

Die in **Kapitel 6** dargestellten Derivateableitungsszenarien und somit auch deren Bewertungsergebnisse dienen zur Validierung der Bewertungsmethodik. Die in der Arbeit durchgeführte Bewertung erhebt daher keinen Anspruch auf die Bildung absolut bindender Zielwerte für die Ableitung von Karosseriederivaten in Produktfamilien. Vielmehr dient die vorgestellte Methodik als Werkzeug zur Entscheidungsfindung in frühen Phasen und soll durch die Variation von Bewertungsparametern im Sinne von Sensitivitätsanalysen das Verständnis für die wirtschaftlichen und geometrischen Auswirkungen unterschiedlicher Kommunalitätsansätze bei der Ableitung von Derivaten in Produktfamilien schärfen.

### 7.3 Ausblick

Die vorgestellte Konstruktionsmethodik wurde im Rahmen dieser Arbeit auch für den Einsatz im Karosseriegerippe evaluiert. Auch hier erweist sich die Steuerung von Geometrien über Parameter in Teilbereichen des Karosseriegerippes z.B. für die Positionierung und Dimensionierung

von Säulen im Greenhouse des Karosseriegerippes in der frühen Konzeptphase als sehr hilfreich. Die hohe Abhängigkeit von den Designdaten und deren Veränderbarkeit wirft aber in diesem Zusammenhang weitere Fragestellungen auf. Die Verwendung der CAD-Applikation IMA, mit der es möglich ist Designdaten in der Programmoberfläche von Catia V5 parametrisch assoziativ zu generieren, wird in Zukunft helfen diesen Zielkonflikt zu lösen.

Da man sich nach ZIMMER [156] derzeit mangels einer durchgehenden Beschreibung geschlossener parametrischer Karosseriemodelle oft auf das Nachrechnen modifizierter Vorgängermodelle beschränken muss, bietet hier das implizit parametrische Entwurfswerkzeug SFE CONCEPT die notwendige Unterstützung. Mit dieser Software ist es dabei möglich in einem Geometriemodus vereinfachte Geometriemodelle parametrisch aufzubauen und automatisiert dazu assoziierte FE-Netze für Strukturberechnungen auszuleiten. Im Rahmen einer weiterführenden wissenschaftlichen Arbeit und im aktuellen Projektgeschehen ist die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Konstruktionsmethodik auf die CAE-Software SFE CONCEPT zur Darstellung gesamthafter Bodengruppenmodelle übertragen worden. Durch die parallele Haltung von aufeinander abgestimmten Geometrie- und Berechnungsmodellen basierend auf einer einheitlichen Parametrik (vgl. 5.3.5) werden die Iterationsschleifen zwischen der Konstruktion und der Berechnung verkürzt und somit die Datenreife der Karosseriemodelle in Produktfamilien in frühen Phasen deutlich erhöht. Durch dieses Vorgehen wird der vorgestellte Prozess zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und der Maßzielerreichung bei der Ableitung von Derivaten in frühen Phasen um den essentiellen Aspekt der funktionalen Auslegung von Karosserien ergänzt. Dadurch wird gezeigt, dass eine parametrisch assoziative Entwicklung über die Grenzen der CAD-Entwicklung hinaus im Sinne eines Gesamtprozesses durchführbar ist.

Viele Fachbereiche entwickeln inzwischen individuell ihre eigenen problemlösungsorientierten PaKo-Methoden. Im gesamten Fahrzeugentwicklungsprozess ergeben sich somit zum Teil Geschwindigkeitsdifferenzen zu konventionellen Entwicklungsmethoden als auch teilweise Inkompatibilitäten zwischen den einzelnen Methoden. In diesem Zusammenhang gibt es Bestrebungen aus der Gesamtfahrzeugentwicklung die Schnittstellen zwischen den jeweiligen Methoden zu vereinheitlichen als auch die Methoden der einzelnen Fachbereiche über eine Logik aus gesamtfahrzeugübergreifenden Adaptermodellen zu steuern. Ein gesamthafter CAD-Prozess wird auch hier die Datenreife und den Wissenszugewinn in frühen Phasen im Sinne einer Verkürzung der Time-to-Market deutlich verbessern.







# Anhang

## Roadsterproportionen

Tabelle-Anhang 1: KIRP Wettbewerbsfahrzeuge

Hersteller	Modell	Modelljahr	Antriebsart Motorloktion	L101	L114	KIRP
Alfa	Spider	2006	Front vorn/quer	2525	1395	0,55
Audi	TT	2007	Front(Allrad) vorn/quer	2468	1336	0,54
BMW	Z3	2000	Standard vorn/längs	2446	1676	0,69
BMW	Z4	2003	Standard vorn/längs	2495	1711	0,69
Mazda	MX 5	1997	Standard vorn/längs	2263	1490	0,66
MCC	Smart Road- ster	2002	Heck quer/heck	2360	1378	0,58
MB	SLK	2004	Standard vorn/längs	2430	1621	0,67
Nissan	350z	2004	Standard vorn/längs	2650	1538	0,58
Pontiac	Solstice	2007	Standard vorn/längs	2415	1653	0,68
Porsche	Boxster	2004	Heck mitte/längs	2415	1361	0,56

## Auswerteroutine CAD-Modell

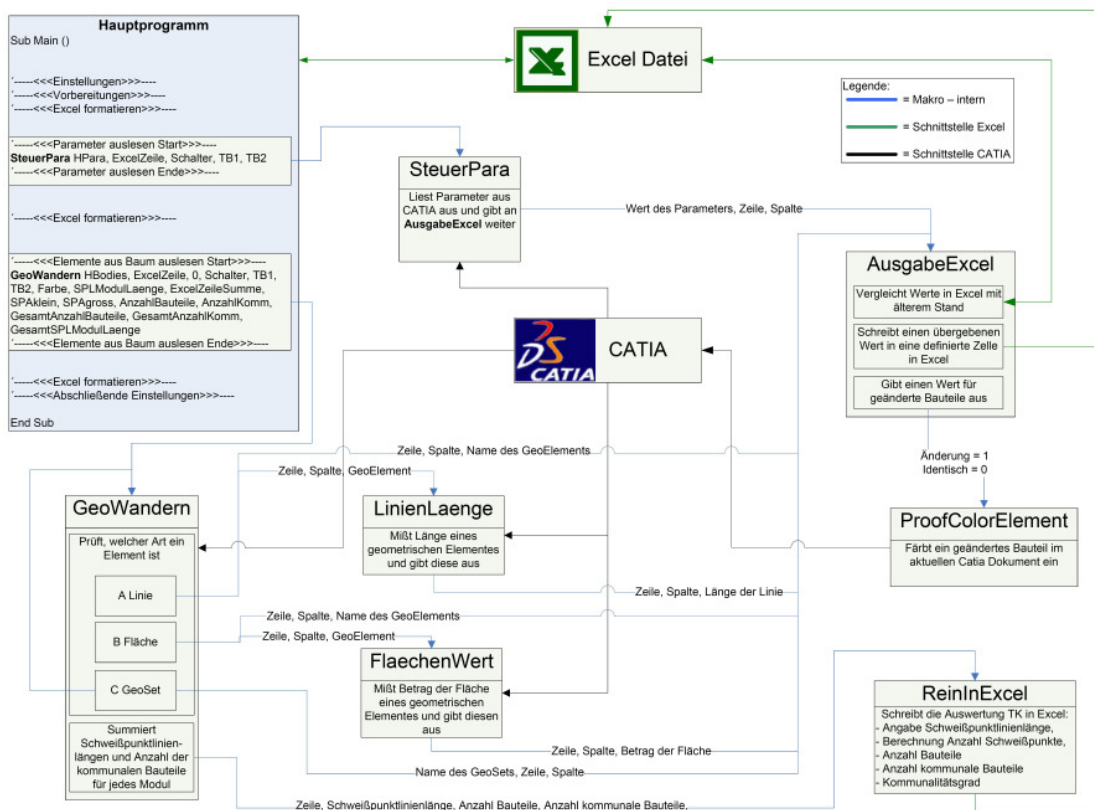


Bild-Anhang 1: Visualisierung der Makro-Logik [58]

## Auswertung PaKoBG durch Auswerteroutine

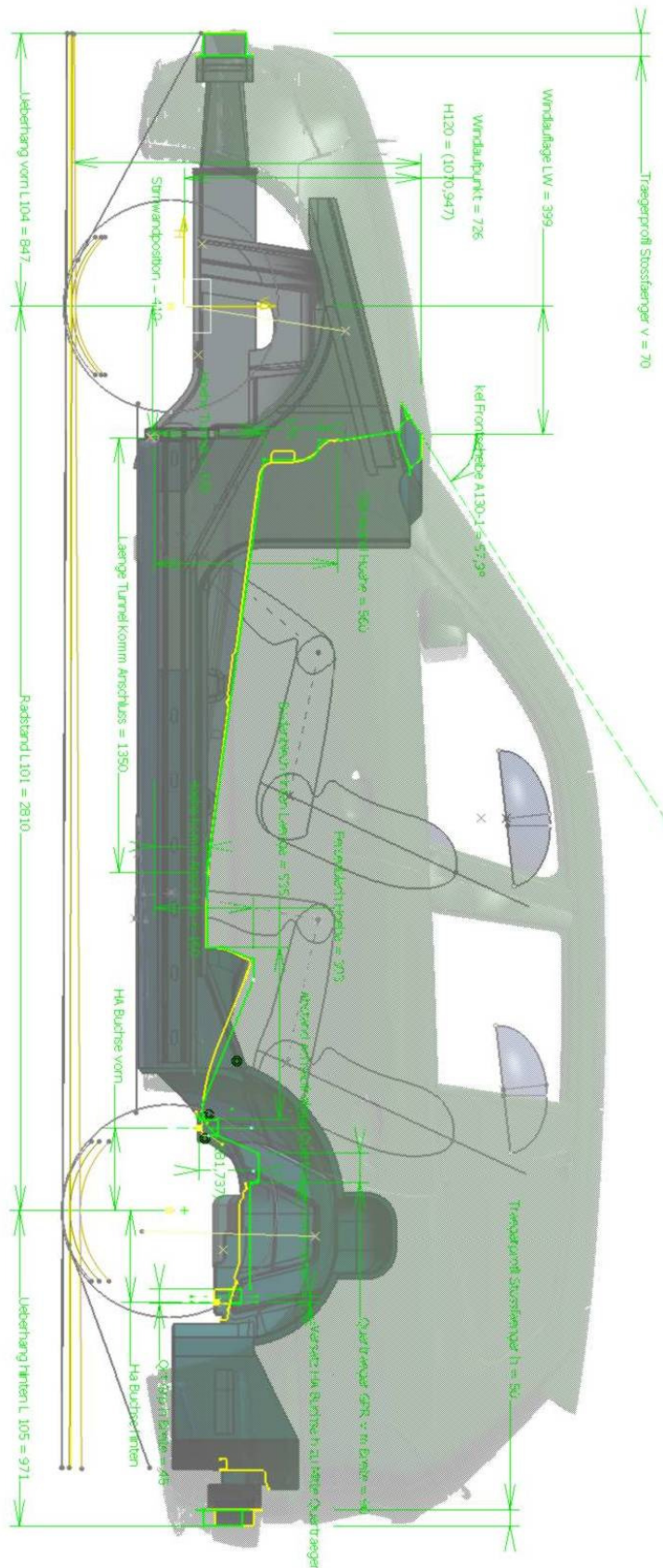


Bild-Anhang 2: Steuerschnitt bei y = 0mm – L-Maßkette SUV max. Kommunalität mit Karosseriegerippe

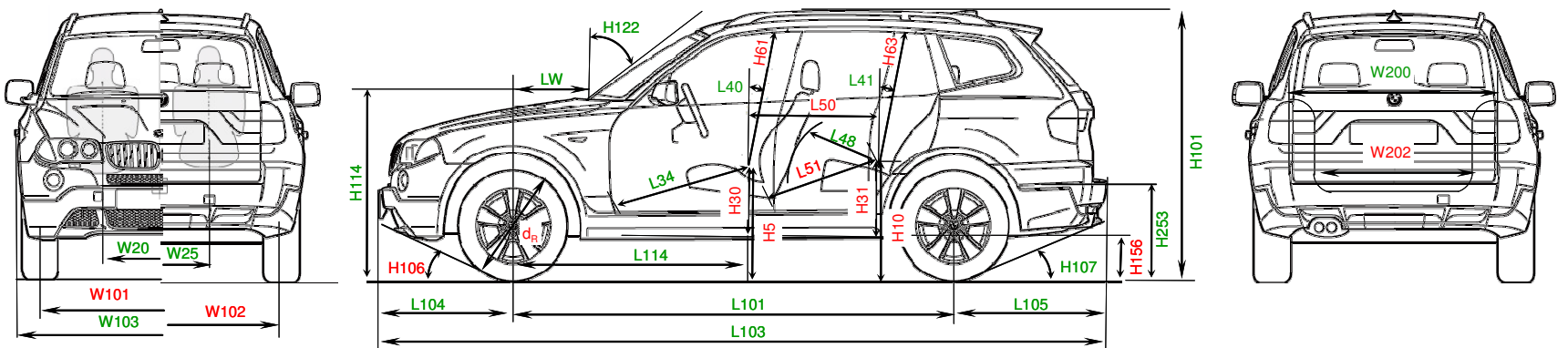
Tabelle-Anhang 2: Auswertung Steuerparameter PaKoBG  
 Zahlenwerte durch die Auswerteroutine in Catia an der PaKoBG ermittelt und nach Excel übertragen;  
 Bsp.: Längen-Maßkonzept-Exterieur SUV – Szenario max. Kommunalität

Bezeichnung des Parameters	SUV Szenario1	Änderung <- ->	Basis
Radstand L101	2810	Änder.	2760
Karosserieueberhang vorne L104	847	Änder.	755
Karosserieueberhang hinten L105	971	Änder.	1005
Spurweite vorn W101-1	1500	Ident.	1500
Spurweite hinten W101-2	1513	Ident.	1513
Z-Position Fahrwerk vorne	0	Ident.	0
Z-Position Fahrwerk hinten	0	Ident.	0
Raddurchmesser dR_max	640	Ident.	640
Raddurchmesser dR	634	Ident.	634
Radhalbmesser R_stat	291	Ident.	291
Z-Position Vorderwagen	0	Ident.	0
Z-Position Hinterwagen	0	Ident.	0
ML1 vorn	-18	Ident.	-18
ML1 hinten	-23	Ident.	-23
ML3 vorn	12	Ident.	12
ML3 hinten	31	Ident.	31
A-Saeule x-Position	500	Ident.	500
A-Saeule Laenge	230	Ident.	230
Motortraegerspur	720	Ident.	720
Z-Position Motorträger Oberkante	200	Ident.	200
Motortraeger Breite	80	Ident.	80
Motortraeger Hoehe	150	Ident.	150
Motorträger Länge	820	Ident.	820
Motortraeger hinten Laenge	900	Ident.	900
Motortraeger hinten Hoehe	50	Ident.	50
Traeger Stossfaenger vorn Hoehe	130	Ident.	130
Traeger Stossfaenger vorn Profillaenge	70	Ident.	70
Motortraeger - Flaechen unten Steuerpunkt1	190	Ident.	190
Motortraeger Flaechen unten Steuerpunkt2	570	Ident.	570
Winlaufage LW	399	Änder.	490
Windlaufpunkt H120	631	Ident.	631
Neigungswinkel Frontscheibe A130-1	57,9	Änder.	59,7
Stirnwandbreite	1460	Ident.	1460
Stirnwandhoehe (absolut)	560	Ident.	560
x-Position-Stirnwand.1	410	Ident.	410
Hoehe Bodenblech vorn	-90	Ident.	-90
Tunnelhoehe	335	Ident.	335
Tunnelbreite	270	Ident.	270
Tunnel komm Anschluss Hoehe	160	Ident.	160
Tunnel komm Anschluss x-Pos	1350	Ident.	1350
X-Position Sitzquertraeger vorn	1179	Ident.	1179
X-Position Sitzquertraeger hinten (rel. Sitzquertraeger v)	430	Ident.	430
Sitzquertraeger Hoehe	60	Ident.	60
Schwellerbreite	130	Ident.	130
Schwellerhoehe	170	Ident.	170
Schweller-Unterkante	120	Ident.	120
Schweller Hoehe-Seitenverkleidung	120	Ident.	120
Schweller - Flanschlage oben	50	Ident.	50
Breite Tunnel unten Referenz	310,3261862	Ident.	310,3261862
Bodenblech hinten Laenge	535	Ident.	535
Bodenblech hinten Winkel	22	Ident.	22
Laengstraeger hinten Breite	85	Ident.	85
Laengstraeger hinten Hoehe	80	Ident.	80
Laengstraeger hinten Unterkante Mitte HA	175	Ident.	175
Laengstraeger hinten Aussenkante Mitte HA	950	Ident.	950
Laengstraeger hinten Aussenkante W200	960	Ident.	960
Laengstraeger hinten Unterkante W200	115	Ident.	115
Laengstraeger hinten Laenge	794	Ident.	794
Höhe Fersenblech ueber Bodenblech vorne	303	Ident.	303
Quertraeger Gepaeckraum vorne unten Z-Position bei Y0	70	Ident.	70
Quertraeger Gepaeckraum vorne mitte Hoehe	25	Ident.	25
Quertraeger Gepaeckraum vorne unten Breite Y=0	50	Ident.	50
Quertraeger Gepaeckraumboden vorne unten Hoehe	100	Ident.	100
Abstand Flansch Bodenblech hinten - Quertraeger zu Ach:	30	Ident.	30
Breite Quertraeger vorn mitte	90	Ident.	90
Winkel Flansch Bodenblech hinten Quertraeger	45	Ident.	45
Abstand Achsaufnahme hinten Quertraeger vorn	170	Ident.	170
Versatz Mitte Quertraeger GP hi zu X-Pos. HA-Buchse hi	17,5	Ident.	17,5
Hoehe Quertraeger Gepaeckraum hinten Y=0	65	Ident.	65
Breite Quertraeger Gepaeckraum hinten Y=0	45	Ident.	45
Stossfaengertraeger hinten Breite	50	Ident.	50
Stossfaengertraeger hinten Hoehe	120	Ident.	120
z - Position Heckverkleidung Oberkante	250	Ident.	250
Strossfaengertraeger hinten Radius	6000	Ident.	6000
Bodenblech hinten Radius Sitzmulde	90	Ident.	90
Gesamthöhe Quertraeger GPRB vorne unten	181,7366667	Ident.	181,7366667
Höhe QRTR seitlich unten	221,7366667	Ident.	221,7366667
Höhe QRTR seitlich oben	180	Ident.	180
Winkel QRTR seitlich	45	Ident.	45
Quertraeger vorn unten Breite unten	50	Ident.	50
Abstand Flanschaussenkante - Schweisspunkt	10	Ident.	10

Tabelle-Anhang 3: Auswertung Kommunalität Bauteile und Schweißpunktlinien-Längen kumuliert  
Zahlenwerte durch die Auswerteroutine in Catia an der PaKoBG ermittelt und nach Excel übertragen;  
Bsp.: Längen-Maßkonzept-Exterieur SUV – Szenario max. Kommunalität

Schweisspunkte		SUV Szenario1	Änderung <-- -->	Basis
<b>Bodengruppe</b>				
Schweisspunktlinienlänge [mm]		30566	Änder.	30257
Anzahl SPKTe bei Abstand [mm]	40	764	Änder.	756
Anzahl SPKTe bei Abstand [mm]	45	679	Änder.	672
Anzahl Bauteile		10	Ident.	10
Anzahl kommunale Bauteile		4	Änder.	10
Kommunalitätsgrad [%]		40	Änder.	100
<b>Vorderbau</b>				
Schweisspunktlinienlänge [mm]		36463	Änder.	36614
Anzahl SPKTe bei Abstand [mm]	40	912	Änder.	915
Anzahl SPKTe bei Abstand [mm]	45	810	Änder.	814
Anzahl Bauteile		41	Ident.	41
Anzahl kommunale Bauteile		36	Änder.	41
Kommunalitätsgrad [%]		88	Änder.	100
<b>Bodenblech</b>				
Schweisspunktlinienlänge [mm]		24894	Änder.	24494
Anzahl SPKTe bei Abstand [mm]	40	622	Änder.	612
Anzahl SPKTe bei Abstand [mm]	45	553	Änder.	544
Anzahl Bauteile		16	Ident.	16
Anzahl kommunale Bauteile		11	Änder.	16
Kommunalitätsgrad [%]		69	Änder.	100
<b>Hinterbau</b>				
Schweisspunktlinienlänge [mm]		41591	Änder.	41584
Anzahl SPKTe bei Abstand [mm]	40	1040	Ident.	1040
Anzahl SPKTe bei Abstand [mm]	45	924	Ident.	924
Anzahl Bauteile		41	Ident.	41
Anzahl kommunale Bauteile		41	Ident.	41
Kommunalitätsgrad [%]		100	Ident.	100
<b>Zusätzliches Modul</b>				
<b>Gesamt BG</b>				
Schweisspunktlinienlänge [mm]		133515	Änder.	132950
Anzahl SPKTe bei Abstand [mm]	40	3338	Änder.	3324
Anzahl SPKTe bei Abstand [mm]	45	2967	Änder.	2954
Anzahl Bauteile		108	Ident.	108
Anzahl kommunale Bauteile		92	Änder.	108
Kommunalitätsgrad [%]		85	Änder.	100

### SUV Szenario 1 – maximale Kommunalität



### SUV Szenario 2 – optimales Maßkonzept

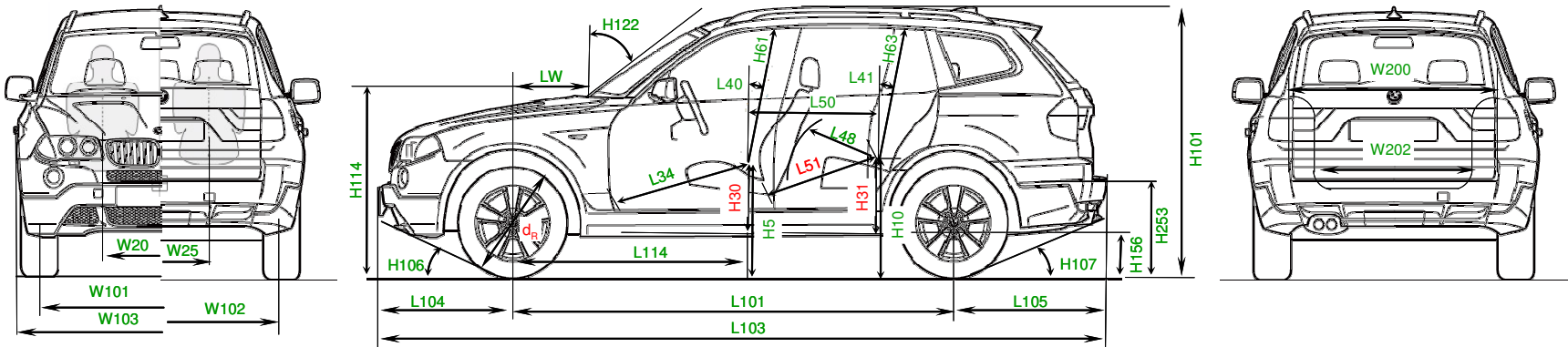


Bild-Anhang 3: Maßzielerreichung SUV Szenario 1 (li.) und SUV Szenario2 (re.)

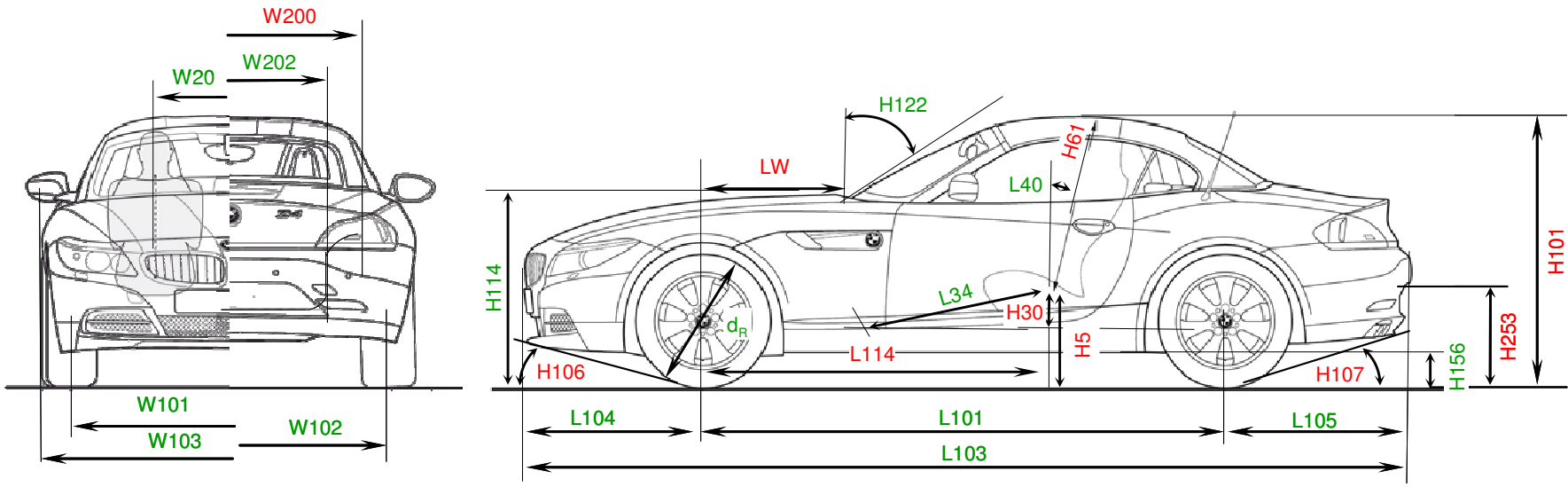


Bild-Anhang 4: Maßzieleerreichung Roadster Szenario 1



Tabelle-Anhang 4: Maßzielerreichung - Bewertung der Szenarien für SUV und Roadster

	SUV				Roadster					
	Zielmaß	Szenario 1	MP	Szenario 2	MP	Zielmaß	Szenario 1	MP	Koeff	SumMP
<b>L-Maßkonzept Exterieur</b>										
L101 Radstand	2810	2810	0	2810	0	2495	2495	0	1	0
L103 Fahrzeuglänge	4628	4628	0	4628	0	4091	4091	0	1	0
L104 Überhanglänge vorne	847	847	0	847	0	824	824	0	1	0
L105 Überhanglänge hinten	971	971	0	971	0	772	772	0	1	0
L114 Radmittelpunkt v zu R-Punkt v	1522	1520	0	1527	0	1711	1528	1	5	5
LW Lage Windlauf	399	399	0	399	0	758	533	1	1	1
H122 Neigungswinkel Frontscheibe	58	58	0	58	0	62	62	0	1	0
KIRP* L114 / L101						0,60	0,61	0	5	0
<b>W-Maßkonzept Exterieur</b>										
W101 Spurweite vorn	1616	1500	1	1616	0	1470	1500	0	1	0
W102 Spurweite hinten	1634	1529	1	1616	0	1513	1529	0	1	0
W103 Fahrzeugbreite	1874	1874	0	1874	0	1781	1781	0	1	0
<b>H-Maßkonzept Exterieur</b>										
H114 Windlaufpunkt bis Standebene	1071	1071	0	1087	0	898	898	0	1	0
H156 Bodenfreiheit ML2 (DIN: bis Standebene)	203	186	1	203	0	115	140	1	1	1
H106 Überhangwinkel vorn	28	22	1	28	0	11	13	1	1	1
H107 Überhangwinkel hinten	20	20	0	20	0	15	19	1	1	1
dR Radurchmesser	702	658	1	702	0	635	634	0	1	0
R stat statischer Radhalbmesser	321	304	1	321	0	298				
H101 Fahrzeughöhe ML2	1644	1640	0	1644	0	1280	1288	1	1	1
Reifendimension	225/60 R17					255/35 R18				
<b>L-Maßkonzept Interieur</b>										
L40 Torsowinkel Fahrersitz	25	25	0	25	0	25	25	0	1	0
L41 Torsowinkel 2. Sitzreihe	27	27	0	27	0	--	--			
L34** effektiver Beinraum vorn	1010	1042	0	1042	0	1067	1065	0	1	0
L48 Kniefreiheit hinten	67	69	0	108	0	--	--			
L50 R-Punkt - Abstand vorne/hinten	830	1099	1	830	0	--	--			
L51** effektiver Beinraum hinten	934	890	1	890	1	--	--			
<b>W-Maßkonzept Interieur</b>										
W20 Y-Koordinate R-Punkt vorn	375	375	0	375	0	365	365	0	1	0
W25 Y-Koordinate R-Punkt 2. Sitzreihe	345	345	0	345	0	--	--			
<b>H-Maßkonzept Interieur</b>										
H5 R-Punkt vorn - Standebene	691	670	1	688	0	405	452	1	1	1
H10 R-Punkt 2. Sitzreihe - Standebene	680	663	1	678	0	--	--			
H30 R-Punkt - Fersenpunkt - vorn	323	393	1	393	1	193	218	1	1	1
H31 R-Punkt - Fersenpunkt - 2. Sitzreihe	320	458	1	464	1	--	--			
H61*** Kopffreiheit bis Dachverkleidung - vorn	1035	982	1	1042	0	1000	910	1	1	1
H63*** Kopffreiheit bis Dachverkleidung - 2. Sitzreihe	997	987	1	1037	0	--	--			
<b>Maßkonzept Kofferraum</b>										
W200 Gepäckraumbreite maximal	1200	1225	0	1225	0	1424	1225	1	1	1
W202 kleinste Breite zw. Radhäusern	1100	929	1	1087	0	803	929	0	1	0
H253 Höhe Gepäckraumboden - Standebene	668	536	0	559	0	415	452	1	1	1
<b>Summe Maluspunkte</b>			14		3					15
<b>Gesamt-Maluswert Maßzielerreichung</b>			0,42		0,09					0,58

# Quellenangaben

## Literaturquellen

- [1] ABULAWI, Jutta: *Automatisierungsansätze in der Vorrichtungskonstruktion*. In: TECKLENBURG, Gerhard (Hrsg.): *Die Digitale Produktentwicklung – Parametrisch assoziative Entwicklung von Baugruppen der Fahrzeugkarosserie*. Essen : expert Verlag, 2007.
- [2] ADAM, D.: *Produktionsmanagement*, 8. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 1998.
- [3] AHLERS, Michael: *Der neue BMW 3er*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2005 – 7<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2005.
- [4] AHLERS, Michael: *Karosserieentwicklung in Produktfamilien*. Garching bei München : Technische Universität München - Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik, Umdruck zur Vorlesung Wintersemester 2006/07, 2007.
- [5] ANSELM, Dieter: *Die Pkw-Karosserie*. Würzburg : Vogel Verlag, 1997.
- [6] ARNHOLD, Ulli: *Modular Sourcing*. In: BLOECH, J., JHIDE, G. (Hrsg.): *Vahlens großes Logistiklexikon*, München : Vahlen, 1997
- [7] BMW INTRANET: *PEP Glossar*.  
[http://tweb.muc/e/pep/pep\\_glossar.nsf/vFramedesigns/framedesign](http://tweb.muc/e/pep/pep_glossar.nsf/vFramedesigns/framedesign), September 2009.
- [8] BMW: *Vergleichsklasseneinteilung - Segmentation*. München : BMW Group – Brand and Product Portfoliomanagement, 2006
- [9] BAUER, Horst: *Bosch: Kraftfahrtechnisches Taschenbuch*. 23. Aufl. Braunschweig/Wiesbaden : Vieweg & Sohn Verlagsges., 1999.
- [10] BECHHEIM, Christian: *Programmplanung in gesättigten Märkten durch typspezifische Gestaltung früher Innovationsphasen – eine theoretische und empirische Untersuchung*. München : TCW Transfer-Centrum GmbH &Co. KG, 2007
- [11] BERGWALL, M.: *The New Volvo S40*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2003 – 5<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2003.
- [12] BRAESS, Hans-Hermann; SEIFFERT, Ulrich: *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. 3. Aufl. Wiesbaden : Vieweg Verlag, 2003.
- [13] BRAESS, Hans-Hermann; SEIFFERT, Ulrich: *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. 4. Aufl. Wiesbaden : Vieweg Verlag, 2005.

- [14] BRAß, Egbert: *Konstruieren mit Catia V5 – Methodik der parametrisch assoziativen Flächenmodellierung*. 3. Auflg. München : Carl Hanser Verlag, 2005
- [15] BRAß, Egbert: *Catia V5 für den Karosserierohbau*. Hamburg : Vortrag an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 23.03.2006
- [16] BRAUNSPERGER, Markus: *Integrative Body Development for Product Families*. Berlin : IABC (International Auto Body Congress) Berlin, 2007.
- [17] BRILL, Michael: *Parametrische Konstruktion mit Catia V5 – Methoden und Strategien für den Fahrzeugbau*. München : Carl Hanser Verlag, 2006.
- [18] BRÜGGEMANN, C.: *Concept development and assessment*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *3. Fascination Automobile-Modularization*. Bad Nauheim / Frankfurt : Automotive Circle International, 2006.
- [19] BRÜGGEMANN, C., EILERT, U.: *Ein Ansatz zur Modularisierung von Karosseriestrukturen*. In: FRANKE, H.J. (Hrsg.): *3. Braunschweiger Symposium: Faszination Karosserie*. Braunschweig : TU-Braunschweig, 2007.
- [20] CORDES, M. et al.: *The Body of the new Volkswagen Passat B6*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2005 – 7<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2005.
- [21] CORNET, Andreas: *Plattformkonzepte in der Automobilentwicklung*. 1. Auflg. Wiesbaden : Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, 2002.
- [22] CRULL, Sven: *Individuelle Kundenanforderungen mit modularen Strukturen bedienen?* In: CTI – CAR TRAINING INSTITUTE: *5. CTi Fachkonferenz: Modularisierung & Leichtbau im Kfz-Karosseriebau*. Stuttgart : CTi Car Training Institute, 2007
- [23] CSM AUTOBASE: [www.csmauto.com](http://www.csmauto.com) : letzter Download am 20.09.2006
- [24] DENCKER, Bodo: *Durch kontinuierliche Verbesserung vom Teile- zum Modullieferanten*. In: ZWF 90 1-2, 1995.
- [25] DIETRICH, Stefan: *Methodik zur Entwicklung und Bewertung von Integrationsmodulstrategien für Fahrzeuge*. Noch nicht veröffentlichte Dissertation. München : n.n., 2010.
- [26] DOBER, Florian: *Konstruktion eines parametrischen Konzept-Karosseriegerippes*. Technische Universität München, Fakultät Maschinenwesen, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik, Semesterarb. im Rahmen des Forschungsprojekts Strukturvariabilität , 2008
- [27] DRAEGER, Klaus: *Der Beitrag der Forschung und Entwicklung zu Flexibilität und Innovation eines Automobilunternehmens*. Bochum : 7. Internationales CAR Symposium, 2007.
- [28] DUDEN 5, *Das Fremdwörterbuch*. 7. Aufl. Mannheim : 2001. [CD-ROM].

- [29] EILERT, U.: *Results report of the joint research project – FASCINATION CAR BODY ENGINEERING – Part 3: Feasible production and assembly concept*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *Fascination Automobile Modularization – Conference*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2006.
- [30] EHRENSPIEL, K., KIEWERT, A., LINDEMANN, U.: *Kostengünstig entwickeln und konstruieren*. 6. Auflg. München : Springer Verlag, 2007.
- [31] EVERSHEIM, Walter: *Standard, individualisiert – individuell*. In: REINHART, Günther; ZÄH, Michael: *Marktchance Individualisierung*. München : Springer Verlag, 2003.
- [32] FAHRENWALDT, Hans J.: *Praxiswissen Schweißtechnik – Werkstoffe, Prozesse, Fertigung*. 2. Auflg. Wiesbaden : Vieweg Verlag, 2006.
- [33] FORSEN, Jörg.: *Ein systemtechnischer Ansatz zur parametrisch assoziativen Konstruktion am Beispiel von Karosseriebauteilen*. Duisburg-Essen : Shaker Verlag, 2003.
- [34] FOTH, Joachim: *Kfz-Systematik am Beispiel von Antriebsstrang und Fahrwerk*. In: *Kraftfahrtwesen und Verbrennungsmotoren*. Tagungsband 2. Stuttgarter Symposium . Stuttgart, 1997.
- [35] FRANKE, H.-J.: *Aktuelle Herausforderungen im Karosseriebau*. Schriftliche Kurzfassung des Beitrags zur Tagung: *Die Zukunft der Kfz-Karosserie*. Karlsruhe : 2004.
- [36] FRANZEN, Otto: *Designbetreuung und funktionale Auslegung einer Fahrzeugtür mittels parametrisch assoziativer Modelle in Catia V5*. In: TECKLENBURG, Gerhard (Hrsg.): *Die Digitale Produktentwicklung – Parametrisch assoziative Entwicklung von Baugruppen der Fahrzeugkarosserie*. Essen : Expert Verlag, 2007.
- [37] FRIEDRICH, Horst E.: *Werkstoffe und Bauweisen ermöglichen neue Fahrzeugkonzepte*. In: SCHINDLER, Volker. (Hrsg.): *Forschung für das Auto von morgen – Aus Tradition entsteht Zukunft*. Berlin : Springer, 2008.
- [38] GERIGK, Peter et. al.: *Kraftfahrzeugtechnik*. 3. Auflg. Braunschweig : Westermann Schulbuchverlag, 2001.
- [39] GLOSSNER, Markus: *Integrierte Planungsmethodik für die Presswerksneutypplanung in der Automobilindustrie*. Karlsruhe : Universitätsverlag Karlsruhe, 2007.
- [40] GÖPFERT, Jan., (Hrsg. PICOT, A., REICHWALD, R., FRANK, E.): *Modulare Produktentwicklung: Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation*. Wiesbaden : Gabler – Edition Wissenschaft, Deutscher Universitätsverlag, 1998.
- [41] GÖPFERT, J., STEINBRECHER, M.: *Modulare Produktentwicklung leistet mehr*. In: *Harvard Business Manager* 3, 2000
- [42] GRABNER, Jörg, NOTHHAFT, Richard: *Konstruieren von Pkw-Karosserien*. 3. erw. Auflg. Berlin : Springer, 2006.

- [43] GRÜNKLEE, A.: *NSB New Steel Body – Ein gewichtsoptimiertes und kostengünstiges Stahl-Leichtbaukonzept*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *Future Steel Car Bodies in Hybrid Design. (Automotive Circle International Conference Bad Nauheim 2004)*. Bad Nauheim : Technik + Kommunikation Verlags GmbH, 2004.
- [44] GSCHEIDLE, R. (Hrsg.): *Fachkunde Fahrzeugtechnik*. 28. Aufl. Haan-Gruiten : Verlag Europa Lehrmittel, 2004.
- [45] HÄNLE, Udo, LIEF, Kurt: *Die Karosseriestruktur des neuen BMW 5er und 6er – Strategie und Prozesse für intelligenten Leichtbau*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2005 – 5<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2003.
- [46] HAUZENEDER, R.: *Investition*. München : VWA - Verwaltungs- und Wirtschaftsakademie München, 2005
- [47] HASLAUER, Richard: *Catia V5 – Konstruktionsprozesse in der Praxis*. München : Carl Hanser Verlag, 2005
- [48] HASLAUER, Richard: *Der Entwicklungsprozess Karosserie in der Konzept- und Serienphase*. In: KRAUS, W. (Hrsg.): *Karosseriebautage Hamburg 2006*. Wiesbaden : Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, 2006
- [49] HEIM, G.: *Das komplett modularisierte Automobil am Beispiel des MOSAIC Projektes*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *Berliner Innovations-Forum Automobil - Megaschritt Modularisierung*. Berlin : Automotive Circle International, 2005
- [50] HEIBING, Bernd: *Fahrwerkhandbuch – Grundlagen, Fahrdynamik, Komponenten, Systeme, Mechatronik, Perspektiven*. 2. Aufl. Wiesbaden : Vieweg und Teubner Verlag, 2008.
- [51] HEIBING, Bernd: *Straßenfahrzeuge: Entwurf und Simulation*. Garching bei München : Technische Universität München - Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik, Umdruck zur Vorlesung Wintersemester 2008/09, 2009.
- [52] HEIBING, Bernd: *Straßenfahrzeuge: Entwurf und Simulation – Finite Element Simulation*. Garching bei München : Technische Universität München - Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik, Umdruck zur Vorlesung Wintersemester 2007/08, 2008.
- [53] HERLYN, W. J.: *Zur Problematik der Abbildung variantenreicher Erzeugnisse in der Automobilindustrie*. In: VDI Fortschrittsberichte, Reihe 16, Nr. 52. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1990.
- [54] HILLMANN, J.: *Karosserie – Perfektion in Anmut und Leichtbau*. In: *ATZ/MTZ extra: Der neue VW Passat*. Wiesbaden : Vieweg Verlag, 2004.
- [55] HOFER, A. P.: *Management von Produktfamilien – Wettbewerbsvorteile durch Plattformen*. Wiesbaden : Deutscher Universitäts-Verlag, 2001.

- [56] HOFFMANN, Hartmut: *Fertigungszelle für die individuelle Blechteilefertigung in der Automobilindustrie*. In: REINHART, Günther; ZÄH, Michael: *Marktchance Individualisierung*. München : Springer Verlag, 2003.
- [57] HOFFMANN, Hartmut. et. al.: *Technologien für die Fertigung individualisierter Produkte*. In: LINDEMANN, U.; REICHWALD, R.; ZÄH, M. (Hrsg.): *Individualisierte Produkte - Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion*. VDI-Buch-Springer Buchreihe. Berlin Heidelberg New York : Springer Verlag, 2006.
- [58] HOBACH, Björn: *Bewertung der Produktion von Produktfamilienderivaten in frühen Phasen*. Technische Universität München, Fakultät Maschinenwesen, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik, Diplarb. im Rahmen des Forschungsprojekts Strukturvariabilität , 2008
- [59] HUNGER, H., KOGLIN, K.: *Hybridstrukturen in der Karosserie des neuen Audi A6*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *Future Steel Car Bodies in Hybrid Design. (Automotive Circle International Conference Bad Nauheim 2004)*. Bad Nauheim : Technik + Kommunikation Verlags GmbH, 2004.
- [60] Hucko, M.: PQ35 – Eine für alle. In: *Autobild*, Nr. 38, 23. September 2005, S. 28-34;. Hamburg : Axel Springer Auto Verlag GmbH, 2005.
- [61] JATO | Automotive Industry Data | Trends | Automotive News: [www.jato.com/](http://www.jato.com/); Abgriff Januar 2006.
- [62] JÄGER, M.: *Plattformstrategien und Modulbauweisen im Karosseriebau – Wachstumchancen und Risiken für die Automobilzulieferindustrie*. Aachen : 8. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentchnik, 1998.
- [63] JESCHKE, A.: *Beitrag zur wirtschaftlichen Bewertung von Standardisierungsmaßnahmen in der einzel- und Kleinserienfertigung durch die Konstruktion. (Bericht Nr. 52)*. Braunschweig : Institut für Konstruktionslehre (Hrsg.), 1997.
- [64] JONSELL, s.: *The new Volvo V50*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2004 – 6<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2004.
- [65] JUNGE, Michael: *Controlling modularer Produktfamilien in der Automobilindustrie*. Wiesbaden : Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH, 2005.
- [66] KEMPINGER, Konrad, et. al.: *Die 5er und 6er Baureihe – Ein ganzheitliches Innovationspaket mit ersten Produktionserfahrungen*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2004 – 6<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2004.
- [67] KIRCHGÄSSNER , Michael: *Catia V5 in Jahr 2007: Vision und Realität in Süddeutschland*. In: TECKLENBURG, Gerhard (Hrsg.): *Die Digitale Produktentwicklung – Parametrisch assoziative Entwicklung von Baugruppen der Fahrzeugkarosserie*. Essen : expert Verlag, 2007.

- [68] KLEPSCH, B.: *Komplementäre Produkt- und Fabrikmodularisierung am Beispiel der Automobilindustrie*. In: VDI Fortschrittsberichte Reihe 16, Nr. 166. Düsseldorf : VDI Verlag, 2004
- [69] KLOCKE, Fritz: *Potenziale generativer Verfahren für die Individualisierung von Produkten*. In: REINHART, Günther; ZÄH, Michael: *Marktchance Individualisierung*. München : Springer Verlag, 2003.
- [70] KOHLHASE, Nils: *Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen - Strategien, Methoden, Instrumente*. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 1 Nr. 275. Düsseldorf : VDI Verlag, 1997.
- [71] KOLK, Olaf: *Funktionale Gestaltung der Karosserie im Fahrzeugentstehungsprozess*. In: HEIBING, Bernd: *Ausgewählte Kapitel der Fahrzeugentwicklung*. Vorlesungsbegleitendes Skript WS 2008/2009. München : FTM, 2008.
- [72] KOLLER, Rudolf: *Konstruktionslehre für den Maschinenbau – Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen*. Berlin : Springer Verlag, 1998.
- [73] KRAMER, Florian: *Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen, Biomechanik – Simulation – Sicherheit im Entwicklungsprozess*. 3. Aufl.. Wiesbaden : Vieweg und Teubner / GWV Fachverlage GmbH, 2009
- [74] KRAUS, Martin: *Kommunalitätsaspekte bei Hochleistungsflugzeugen*. Garching bei München : Workshop DLRG-Fachausschuss S2 Luftfahrtsysteme – Bewertung von Flugzeugen, 1998.
- [75] KRAUS, Peter K., (Hrsg.: Feldmann, K.): *Plattformstrategien – Realisierung einer varianten- und kostenoptimierten Wertschöpfung*. Bamberg : Meisenbach Verlag Bamberg, 2005.
- [76] KROKER, Jens: *Schnittstellensystematik für modulare Fahrzeugkarosserien*. Berlin : Logos Verlag, 2005.
- [77] LANGEN, Peter; et. al.: *Die neue Leichtigkeit des Fahrens*. In: SIEBENPFEIFFER, Wolfgang (Hrsg.): *ATZ/MTZ extra: Der neue BMW 1er*. Wiesbaden : Vieweg Verlag, 2004.
- [78] LASSL, G.: *The new Volvo C70*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2005 – 7<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2005.
- [79] LAVOISIER, V.: *The new Renault Clio III*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2005 – 7<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2005.
- [80] LACHER, C.: *Die Achsen des neuen Audi Q5*. In: WINTERHAGEN, J. (Hrsg.): *Der neue Audi Q5*. ATZ extra. Wiesbaden : Vieweg + Teubner GWV Fachverlage GmbH, 2008.

- [81] LEO DICTIONARY, <http://dict.leo.org/>, Abgriff Dezember 2009.
- [82] LINDEMANN, Udo: *Entwickeln individueller Produkte*. In: REINHART, Günther; ZÄH, Michael: *Marktchance Individualisierung*. München : Springer Verlag, 2003.
- [83] LINDEMANN, Udo: *Methodische Entwicklung technischer Produkte*, 2. Auflage. München : Springer Verlag, 2007.
- [84] LIESENFELDER, B.: *The new Ford Focus C-Max Car Body – Shared Technologies-Product Design-Manufacturing Strategy*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2003 – 5<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2003.
- [85] LIESENFELDER, B.: *The body-in-white of the new Ford Focus*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2004 – 6<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2004.
- [86] LIST, S.: *Betriebliches Rechnungswesen II*. München : VWA - Verwaltungs- und Wirtschaftsakademie München, 2005
- [87] MANTWILL, F (Hrsg.), Brockermeier, H.: *Entwicklung von wissensbasierten Assistenzen zur frühzeitigen Produktbeeinflussung am Beispiel des Karosseriebaus*. In: TECKLENBURG, Gerhard (Hrsg.): *Die Digitale Produktentwicklung – Parametrisch assoziative Entwicklung von Baugruppen der Fahrzeugkarosserie*. Essen : expert Verlag, 2007.
- [88] MAYAS, Lothar: *Wettbewerbsfähigkeit durch Modularisierung*. In: VDI-Zeitung 135 3. München : Springer Verlag, 1993.
- [89] MEICHSNER, Th.: *Engineering Loop: Best-Practice-Beispiele bei der Realisierung einer Al-Leichtbau-Karosserie*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *The Aluminium Automobile Process Chain. (2nd European Al-Automobile Conference, International Circle of Experts on Carbody Construction Bad Nauheim 2002)*. Bad Nauheim : Technik + Kommunikation Verlags GmbH, 2002.
- [90] MEICHSNER, Thomas Paul Kurt: *Migrationskonzept für einen modell- und variantenflexiblen Automobilkarosseriebau*. Hannover : PZH, Produktionstechn. Zentrum, 2007.
- [91] MELCHER, Hannes: *Synthese und Analyse im parametrischen Flugzeugvorentwurf*. München : Verlag Dr. Hut, 2002.
- [92] MENDGEN, Ralf.: *Methodische Vorgehensweise zur Modellierung in parametrischen und featurebasierten 3D-CAD-Systemen*. Aachen : Shaker Verlag, 1999.
- [93] MENNERICH, Karen: *Modell zur Optimierung der Kapazitäts- und Belegungsplanung im Presswerksverbund der Automobilindustrie*. München : utg-Forschungsberichte, 2006
- [94] MEYER, Marc; LEHNERD, Alvin: *The power of product platforms – Building Value and Cost Leadership*, New York u.a. 1997.



- [95] MÖBMER, Helmut E.: *Zusatzqualifikation für technische Führungskräfte - Betriebswirtschaftliches Grundwissen für Nichtkaufleute*. Technische Universität München, Wissenstransfer und Messewesen. 2008.
- [96] NAITOH, T. et. al.: *The Development of an Intelligent Body Assembly System*. In: SHIMOKAWA, K. (Hrsg.): *Transforming Automobile Assembly -Experience in Automation and Work organization*, Berlin: Springer, 1997.
- [97] NEDELJKOVIC, Milan: *Benchmarking-Methode zur Produktivitätssteigerung in Presswerken*. München : Herbert Hieronymus Druck und Verlag, 2005.
- [98] NILLES, Volker: *Effiziente Gestaltung von Produktordnungssystemen*. 1. Auflg. München : TCW Transfer-Centrum GmbH, 2001.
- [99] NIEMIERSKI, Siegmard: *Parametergesteuerte Karosserie – Generierung im PKW-Vorentwurf*. Berlin : Technische Universität Berlin, 1988.
- [100] N. N.: *Mit breiten Schultern in die Zukunft – Der neue Passat...* . In: Welt am Sonntag, 19. Dezember 2004. Berlin : Axel Springer Verlag, 2004.
- [101] N. N.: *Im Fokus: Volkswagen – Schafft VW den Spagat?* In: Automobil Produktion, S. 13; Dezember 2004. Landsberg : verlag moderne industrie GmbH, 2004.
- [102] N. N.: *Im Fokus: Renault-Nissan – Strickte Plattform-Diät*. In: Automobil Produktion, S. 20-21; Januar 2005. Landsberg : verlag moderne industrie GmbH, 2005.
- [103] N. N.: *Im Fokus: Toyota – Nicht zu bremsen*. In: Automobil Produktion, S. 14-15; Juli 2005. Landsberg : verlag moderne industrie GmbH, 2005.
- [104] N. N.: *Im Fokus: Ford – Die Tempomacher*. In: Automobil Produktion, S. 14-15; November 2005. Landsberg : verlag moderne industrie GmbH, 2005.
- [105] N. N.: *Im Fokus: Volkswagen – Kompetenz: Sparen*. In: Automobil Produktion, S. 14-15; März 2006. Landsberg : verlag moderne industrie GmbH, 2006.
- [106] NYSTRÖM; et. al.: *The new Volvo S60 Car Body*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2001 – 3<sup>rd</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2001.
- [107] OTTOSSON, J.: *The new Volvo C30*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2006 – 8<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2006.
- [108] OZAWA, E.: *The new NISSAN MICRA – Body Structure*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2002 – 4<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2002.
- [109] PAHL, G.; BEITZ, W. ET.AL.: *Konstruktionslehre - Grundlagen*. 7. Auflg. Berlin : Springer Verlag, 2007.

- [110] PFESTORF, M.: *The new Body of the new BMW 7*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *Strategische Fragen des Karosseriebaus*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2009
- [111] PILLER, Frank; WARINGER, Daniela: *Modularisierung in der Automobilindustrie – neue Formen und Prinzipien*. Aachen : Shaker Verlag, 1999.
- [112] PILLER, Frank: *Mass Customization*. 4. Auflage. Wiesbaden : Deutscher Universität Verlag, 2006.
- [113] PISKUN, A.: *Hohe Steifigkeit – hervorragende Crashesicherheit*. In: HOHEHTHAL VON, M.-Y. (Hrsg.): *Der Tiguan von Volkswagen*. ATZ/MTZ extra. Wiesbaden : Vieweg + Teubner GWV Fachverlage GmbH, 2007.
- [114] PLAPPER, P., et. al.: *The new Body of the Opel Zafira II*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *Euro-CarBody 2005 – 7<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2005.
- [115] PORTER, Michael E.: *Wettbewerbsvorteile – Spitzenleistungen erreichen und behaupten*. 6. Auflage. Frankfurt am Main : Campus-Verlag, 2000.
- [116] PORTER, Michael E.: *Wettbewerbsstrategie – Methoden zur Analyse von Wettbewerb und Konkurrenten*. 11. Auflage. Frankfurt am Main : Campus-Verlag, 2008.
- [117] RAPP, Thomas: *Produktstrukturierung – Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen*. Wiesbaden : Dt.Univ.-Verlag - Wiesbaden, 1999
- [118] REINHART, Günther: *Mit Mobilität zur wandlungsfähigen Produktion*. In: REINHART, Günther; ZÄH, Michael: *Marktchance Individualisierung*. München : Springer Verlag, 2003.
- [119] RENNER, Ingo: *Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil*. München : Verlag Dr. Hut, 2008.
- [120] REUTER, Michael; GESCHKE, Thomas: *Bereichsmodelle in der Konzeptphase*. In: TECKLENBURG, Gerhard (Hrsg.): *Die Digitale Produktentwicklung – Parametrisch assoziative Entwicklung von Baugruppen der Fahrzeugkarosserie*. Essen : Expert Verlag, 2007.
- [121] RICHARD, J.-F.: *Die neue Vel Satis- und Espace-Karosserie von Renault*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2002 – 4<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2002.
- [122] RIXEN, Werner: *Benchmarking - Ein Instrument zur Effizienzsteigerung*. In: *International Paperworld*, Band 9, S.34-35, 2004.
- [123] RÖHRICH, Martina: *Grundlagen der Investitionsrechnung*. München Wien : Oldenburg, 2007.

- [124] RÖTH, Tilo: *Leichtbau und Karosserietechnik*. Fachbereich6 - Fachhochschule Aachen, Umdruck zur Vorlesung Wintersemester 2006/07. Aachen 2006.
- [125] RUCH, W.: *Die strategische Bedeutung der Al-Technologie im Karosserieleichtbau bei Audi*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *The Aluminium Automobile Process Chain. (2nd European Al-Automobile Conference, International Circle of Experts on Carbody Construction Bad Nauheim 2002)*. Bad Nauheim : Technik + Kommunikation Verlags GmbH, 2002.
- [126] RUDOLPH, Stephan: *Eine Methodik zur systematischen Bewertung von Konstruktionen*. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 1 Nr. 251. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1995.
- [127] RUDOLPH, Stephan: *Übertragung von Ähnlichkeitsbegriffen*. Stuttgart : Habilitationsschrift am Institut für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtkonstruktionen, 2002.
- [128] RUDOLPH, Stephan: *EWS-Car: Eine Entwurfssprache für den Fahrzeugbau*. VDI-Berichte Nr. 1846. Düsseldorf : VDI-Verlag, 2004.
- [129] SALEIN, Matthias: *Methodik zum situationsspezifischen Planen marktgerechter technischer Produkte*. In: Fortschrittsbereiche VDI / 1 316. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1999
- [130] SCHÄFER, S., SEIBT, D.: *Benchmarking - Eine Methode zur Verbesserung von Unternehmensprozessen*. In: *Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis*, Band 50 4, S.365-380, 1998.
- [131] SCHMIEDER, Matthias; THOMAS, Sven: *Plattformstrategie und Modularisierung in der Automobilentwicklung*. Aachen : Shaker Verlag, 2005
- [132] SCHUH, Günther; CAESAR, Christoph: *Variantenorientierte Produktgestaltung – Standardisierung und Modularisierung von Serienprodukten*. In *Konstruktion*, Hannover : Schlütersche Verlagsgesellschaft, 1989
- [133] SCHULER: *Handbuch der Umformtechnik*. Berlin : Springer-Verlag, 1996
- [134] SCHULZ, R.: *Neue Potenziale für den Karosseriebau in Stahl*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *Future Steel Car Bodies in Hybrid Design. (Automotive Circle International Conference Bad Nauheim 2004)*. Bad Nauheim : Technik + Kommunikation Verlags GmbH, 2004.
- [135] SEIFERT, Ulrich; RAINER, Gotthard (Hrsg.): *Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im KFZ – Prozesse, Komponenten, Beispiele aus der Praxis*. Wiesbaden : Vieweg und Teubner Verlag, 2008.
- [136] SIMPSON, Timothy, W., SIDDIQUE, Zahed, JIAO, Jianxin: *Product Platform and Product Family Design*. New York : Springer Verlag, 2006.
- [137] STEINMEIER, Eckhard: *Realisierung eines systemtechnischen Produktmodell- Einsatz in der PKW-Entwicklung*. Aachen : Shaker Verlag, 1998.

## Quellenangaben

- [138] TESCH, Florian: *Strukturvariabilität - Ableitung von Derivaten in Produktfamilien mit Catia V5*. In: TECKLENBURG, Gerhard (Hrsg.): *Die Digitale Produktentwicklung – Parametrisch assoziative Entwicklung von Baugruppen der Fahrzeugkarosserie*. Essen : expert Verlag, 2007.
- [139] TESCH, Florian: *Kommunalitätsanalyse Nissan FR-L Plattform*. München : BMW Group 2006 - Firmenschrift.
- [140] TESCH, Florian: *Prozesskette Karosserie – Vergleich Volkswagen PQ35 und PQ46*. München : BMW Group 2006 - Firmenschrift
- [141] TESCH, Florian: *Kommunalitätsanalyse Lexus IS und GS*. München : BMW Group 2006 - Firmenschrift.
- [142] TESCH, Florian: *Konstruktion einer parametrisch assoziativen Karosserie-Bodengruppe für einen Roadster*. Hamburg : Hochschule für angewandte Wissenschaften, Umdruck zur Praxis Semesterarbeit CAD K2 Prof. Tecklenburg Wintersemester 2007/08, 2007.
- [143] TESCH, Florian: *Entwicklung und Analyse von Produktionslayouts in einem „Agilen-Produktions-Zentrum“*, Technische Universität München, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, Semesterarb., 2003
- [144] TECKLENBURG, G.: *Die parametrisch assoziative Konstruktionsmethodik in der Karosserieentwicklung und deren Auswirkung auf die Hochschullehre*. In: *Entwicklungen im Karosseriebau*, VDI-Bericht 1833/2004. Düsseldorf : VDI-Verlags GmbH, 2004
- [145] TIMM, H., Koglin, K.: *The new Audi TT body*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2006 – 8<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2006.
- [146] TSCHÄTSCH, Heinz: *Praxis der Umformtechnik*. 9. Aufl. Wiesbaden : Vieweg und Teubner Verlag, 2008.
- [147] URAKAMI, K., Oguie, H.: *Nissan Fuga*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2005 – 7<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2005
- [148] URAKAMI, K., Saitou, J.: *The new Nissan Note*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2006 – 8<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2006
- [149] WAN, M.: *Volvo S60*. [www.AutoZine.com](http://www.AutoZine.com); Abgriff Januar 2006.
- [150] WEBER, M.: *Manufacturing the Ford Focus/C-Max car Body*. In: EBERT, F. (Hrsg.): *EuroCarBody 2004 – 6<sup>th</sup> International Car Body Benchmarking Platform*. Bad Nauheim : Automotive Circle International, 2004.

- [151] WEISS, R.: *Das Fertigungskonzept für den Audi Q5 – Eine Integrallösung*. In: SCHOL, O. (Hrsg.): *Der neue Audi Q5*. ATZ/MTZ-Typenbuch. Wiesbaden : Vieweg + Teubner GWV Fachverlage GmbH, 2009.
- [152] WILDEMANN, Horst: *Produktordnungssysteme – Stabil und dennoch flexibel*. In: Harvard Business Manager, 26. Jg. Nr.2, 2004.
- [153] WILHEM, Benno: *Konzeption und Bewertung einer modularen Produktfamilie*. Aachen : Shaker Verlag, 2001.
- [154] WEMHÖNER, Nils: *Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau*. Aachen : Shaker Verlag, 2006.
- [155] WOMACK, James P.; TONES, Daniel T.; ROOS, Daniel: *Die zweite Revolution in der Automobilindustrie*. 8. Aufl. Frankfurt/Main : Campus Verlag, 1994.
- [156] ZIMMER, Hans: *SFE CONCEPT – Funktionsauslegung und Optimierung in der frühen Designphase*. In: TECKLENBURG, Gerhard (Hrsg.): *Die Digitale Produktentwicklung – Parametrisch assoziative Entwicklung von Baugruppen der Fahrzeugkarosserie*. Essen : expert Verlag, 2007

## **Gesetze, Normen und Standards**

- [N1] DIN 1505 Teil1: *Titelangaben von Dokumenten, Titelaufnahme von Schrifttum*. Frankfurt: Deutsches Institut für Normung e.V., Mai 1984
- [N2] DIN 1505 Teil2: *Titelangaben von Dokumenten, Zitierregeln*. Frankfurt : Deutsches Institut für Normung e.V., Jan. 1984
- [N3] DIN 70010: *Systematik der Straßenfahrzeuge, Begriffe für Kraftfahrzeuge, Fahrzeugkombinationen und Anhängfahrzeuge*. Frankfurt : Deutsches Institut für Normung e.V., April 2001.
- [N4] DIN 70020-1: *Straßenfahrzeuge, Kraftfahrzeugbau, Teil1: Personenkraftwagen – Begriffe, Grundlagen, Bestimmungen, Kurzzeichen*. Frankfurt : Deutsches Institut für Normung e.V., April 2002
- [N5] FMVSS216 (49 CFR Ch. V §571.216):Federal Motor Vehicle Safety Standard – Roof Crush, 10-10-08 Edition
- [N6] ISO 3833: *Road Vehicles - Types and Definitions*. Schweiz: International Organization for Standardization, 1977
- [N7] Safety Act 49, CFR 523 -Vehicle Classification-EPA, 40 CFR 86
- [N8] 70/156/EWG, ersetzt durch 2007/46/EG
- [N9] ADR Definitions and Vehicle Categories (Chapter 4.3.3)
- [N10] KMVSS Art. 5, Süd Korea