

Schnittstellensystematik für modulare Fahrzeugkarosserien

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von

Jens Kroker
aus Einbeck

Mündliche Prüfung am: 12. Oktober 2005
Berichtersteller: Prof. Dr.-Ing. H.-J. Franke
Prof. Dr.-Ing. P. Horst

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	5
2 Modularisierung im Automobilbau.....	7
2.1 Methoden zur Strukturierung eines Produktes	7
2.1.1 Baukastentechnik	8
2.1.2 Modularisierung	10
2.2 Modulbildung	15
2.2.1 Gesamtfahrzeuge	15
2.2.2 Karosserien	18
2.3 Schnittstellen	21
2.3.1 Lage	24
2.3.2 Gestaltung	26
3 Methode zur Systematisierung der Schnittstellen	29
3.1 Anforderungen an die Systematik.....	29
3.2 Ermitteln der Zusammenhänge	29
3.3 Darstellung der Zusammenhänge	31
3.3.1 Algorithmen	31
3.3.2 Heuristiken.....	32
3.3.3 Graphentheoretische Darstellungsmethoden	32
3.3.3.1 Netzpläne.....	33
3.3.3.2 Petri-Netze	34
3.4 Entscheidungsprozess mit Entscheidungstabellen.....	35
3.5 Überblick der Methode zur Systematisierung	36
4 Einfluss der Konzeptanforderungen auf die Lage der Trennebenen	38
4.1 Anforderungen an das Modularisierungskonzept	38
4.2 Theoretischer Verlauf der Trennebenen.....	39

..... 40	6.2.2	verwendete Werkstoffe.....	91
..... 42	6.2.2.1	Stahl.....	91
..... 42	6.2.2.2	Nicht-Eisen-Metalle.....	93
..... 43	6.2.2.3	Nicht-Metalle.....	94
..... 43	6.2.2.4	Einfluss der Werkstoffe auf die Schnittstellen.....	94
..... 43	6.2.3	angewandte Fügeverfahren.....	95
..... 45	6.2.4	Lackiererei.....	100
nderungen..... 45	6.2.5	Einfluss auf die Endmontage / Einfluss der Endmontage.....	101
..... 46	6.2.6	Herstellkosten.....	104
..... 49	6.3	physikalische Eigenschaften.....	108
..... 50	6.3.1	Karosseriesteifigkeit.....	108
ahrgastzelle..... 51	6.3.2	Betriebsfestigkeit.....	112
..... 53	6.3.2.1	Bremse.....	115
..... 54	6.3.2.2	Bordsteinüberfahrt.....	117
..... 54	6.3.2.3	Zusammenfassen der betrachteten Lastfälle.....	118
..... 59	6.4	Recycling.....	119
..... 67	7	Bestimmung der Schnittstellenlage.....	121
..... 67	7.1	Methode zur Bestimmung der Schnittstellenlage.....	121
..... 68	7.2	Lage der Schnittstellen.....	124
..... 69	7.2.1	Sammeln und Gliedern der Einzelanforderungen.....	124
..... 71	7.2.2	Klassifizieren der Einzelanforderungen.....	126
..... 72	7.2.3	Ableitung konkreter Lagevorschläge.....	128
pielschnittstellen..... 73	7.2.4	Zusammenfassen der Einzellösungen zu einer gemeinsamen Anordnung.....	129
..... 78	7.2.4.1	Anforderungen erster Priorität.....	129
..... 81	7.2.4.2	Anforderungen zweiter Priorität.....	130
er Schnittstellen..... 83	7.3	Anzahl der Schnittstellen.....	136
..... 83	8	Ermitteln der Gestalt der Schnittstellen.....	137
..... 83	8.1	Methode zur Bestimmung der Schnittstellengestalt.....	137
..... 84	8.1.1	Eingangsgrößen.....	139
..... 85	8.1.2	Ausgangsgrößen.....	140
..... 85	8.2	Gestaltungsprozess für Beispielschnittstelle.....	141
modularen Karosserien..... 85	8.2.1	Überprüfung der Informationsvollständigkeit.....	141
..... 87	8.2.2	Gestalt der Beispielschnittstelle.....	143
..... 88	8.2.2.1	Randbedingungen aus der Schnittstelle des Hutes mit dem Grundfahrzeug.....	143
..... 88			

8.2.2.2	Erste Konstruktion der Schnittstelle zwischen Vorderwagen und Fahrgastzelle	144
8.3	Einsatz von Entscheidungstabellen für die Platzierung und Gestaltung von Schnittstellen	145
9	Zusammenfassung und Ausblick	146
10	Anhang	148
10.1	Veröffentlichte Modularisierungskonzepte	148
10.2	Modularisierungsansätze aus Erfindungsmeldungen	164
10.3	Tabelle zur Ableitung konkreter Schnittstellenlagen	182
11	Literaturverzeichnis	187

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Entwicklung der Neuzulassungsanz Karosseriederivate
Abbildung 1.2:	Kosten in Abhängigkeit der Variante
Abbildung 1.3:	Definition der Begriffe Lage und Ges
Abbildung 1.4:	Schematischer Aufbau der Arbeit da Ergebnisse der einzelnen Kapitel
Abbildung 2.1:	Funktions- und Bausteinararten bei Ba
Abbildung 2.2:	Beispiel eines einfachen Baumstern
Abbildung 2.3:	Ausgewählte Vorarbeiten zum Them
Abbildung 2.4:	Übersicht Montagemodule in einem F
Abbildung 2.5:	Trennebenen in Hauptraumrichtung
Abbildung 2.6:	Modulaufteilung nach Zwiebelschalen
Abbildung 2.7:	Modulaufteilung in x-z-Ebene für bis z
Abbildung 3.1:	allgemeine und beispielhafte Entsche
Abbildung 3.2:	dreistufiger Systematisierungsprozess
Abbildung 4.1:	Prozess zur Positionierung der Trenne
Abbildung 4.2:	Fahrzeug-Koordinaten-System
Abbildung 4.3:	Übersicht abzubildender Derivate
Abbildung 4.4:	Übersicht Anforderungen und Trenneb
Abbildung 4.5:	unvereinbare Lageanforderungen an d
Abbildung 4.6:	Fahrzeug aufgeteilt in acht Quadranten
Abbildung 4.7:	Lage der Trennebenen nach Abgleich
Abbildung 4.8:	schematische Übersicht der Rohbaumc
Abbildung 5.1:	Fünf-stufiger Plan zur Bestimmung von
Abbildung 5.2:	Einflussbereiche auf die Lage der Schn Gesamtfahrzeugsicht
Abbildung 5.3:	Einfluss der Schwerpunkthöhe auf die n Zentripetalbeschleunigung
Abbildung 5.4:	Vereinfachte Rechengrundlage zur Best Schwerpunkthöhen
Abbildung 5.5:	Ergebnisse relative Schwerpunkthöhen..
Abbildung 5.6:	Bereich für Schnittebene zur Optimierung

erwagen und	144
Gestaltung von	145
	146
	148
	148
	164
	182
	187

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Entwicklung der Neuzulassungsanzahl und der Anzahl der Karosseriederivate	1
Abbildung 1.2: Kosten in Abhängigkeit der Variantenanzahl	3
Abbildung 1.3: Definition der Begriffe Lage und Gestalt	4
Abbildung 1.4: Schematischer Aufbau der Arbeit dargestellt anhand der erzielten Ergebnisse der einzelnen Kapitel	6
Abbildung 2.1: Funktions- und Bausteinarten bei Baukastensystemen	9
Abbildung 2.2: Beispiel eines einfachen Baumusterplans	9
Abbildung 2.3: Ausgewählte Vorarbeiten zum Thema Elementarisierung	15
Abbildung 2.4: Übersicht Montagemodule in einem Fahrzeug	16
Abbildung 2.5: Trennebenen in Hauptraumrichtung	24
Abbildung 2.6: Modulaufteilung nach Zwiebschalenprinzip	25
Abbildung 2.7: Modulaufteilung in x-z-Ebene für bis zu 4 Module	26
Abbildung 3.1: allgemeine und beispielhafte Entscheidungstabelle	35
Abbildung 3.2: dreistufiger Systematisierungsprozess	37
Abbildung 4.1: Prozess zur Positionierung der Trennebenen	38
Abbildung 4.2: Fahrzeug-Koordinaten-System	41
Abbildung 4.3: Übersicht abzubildender Derivate	44
Abbildung 4.4: Übersicht Anforderungen und Trennebenen für Konzeptfahrzeug	46
Abbildung 4.5: unvereinbare Lageanforderungen an die Trennebenen	47
Abbildung 4.6: Fahrzeug aufgeteilt in acht Quadranten	49
Abbildung 4.7: Lage der Trennebenen nach Abgleich mit den Anforderungen	50
Abbildung 4.8: schematische Übersicht der Rohbaumodule	50
Abbildung 5.1: Fünf-stufiger Plan zur Bestimmung von Schnittstellen	53
Abbildung 5.2: Einflussbereiche auf die Lage der Schnittstellen aus Gesamtfahrzeugsicht	53
Abbildung 5.3: Einfluss der Schwerpunkthöhe auf die maximale Zentripetalbeschleunigung	55
Abbildung 5.4: Vereinfachte Rechengrundlage zur Bestimmung der relativen Schwerpunkthöhen	56
Abbildung 5.5: Ergebnisse relative Schwerpunkthöhen	57
Abbildung 5.6: Bereich für Schnittebene zur Optimierung der Schwerpunktlage	58

Abbildung 5.7: Ablaufplan der Platzierung der Schnittstellen zur Optimierung der Crashesicherheit	60
Abbildung 5.8: Strukturverlauf der Beispielkarosserie.....	61
Abbildung 5.9: Lastpfade Frontal- und Seitencrash	62
Abbildung 5.10: Lastpfad im Frontcrash	63
Abbildung 5.11: Lastpfade im Seitencrash.....	63
Abbildung 5.12: statische Lastanalyse (v. Mises-Spannungen) für Offset-Crash	65
Abbildung 5.13: statische Lastanalyse (v. Mises-Spannungen) für Seiten-Crash.....	66
Abbildung 5.14: Schematische Darstellung modulübergreifender Systeme.....	76
Abbildung 5.15: Fugenbereich zwischen Kotflügel und A-Säule bzw. Schweller.....	79
Abbildung 5.16: für Montage zugängliche Bereiche – obere Fuge	79
Abbildung 5.17: für Montage zugängliche Bereiche – untere Fuge	80
Abbildung 5.18: Einfluss der Krümmung der Vorderen Türkante auf die Zugänglichkeit bei der Montage	80
Abbildung 5.19: Gestaltung der Türvorderkante Daihatsu Copen und Peugeot 307 CC ..	81
Abbildung 6.1: Relation aus Kosten und Stückzahl für betrachtete Bauweisen (schematisch)	86
Abbildung 6.2: Fertigungsablauf heute	89
Abbildung 6.3: Fertigungsablauf für das modulare Konzept	91
Abbildung 6.4: Merkmale von Fügeverfahren	97
Abbildung 6.5: relative Montagedauer unterschiedlicher Leitungsverbindungen	100
Abbildung 6.6: Herstellkosten in % nach Prozessschritten ULSAB-AVC und NSB	100
Abbildung 6.7: Eigenschaften und Kosten unterschiedlicher Verbindungstechniken.....	100
Abbildung 6.8: Torsionskennlinie der Rohkarosse eines Golf V	110
Abbildung 6.9: Spannungsverteilung nach „von Mises“ unter Torsionsbelastung.....	111
Abbildung 6.10: Trennungsmöglichkeiten innerhalb der mit Torsionsbelastung beaufschlagten Karosserie im Bereich Stirnwand	110
Abbildung 6.11: Übersicht über auftretende Betriebslasten.....	111
Abbildung 6.12: Anordnung der Hilfsrahmen verschiedener Fahrzeuge im A-Segment ..	110
Abbildung 6.13: In die Karosserie über die Vorderachse eingeleitete Betriebs- und Missbrauchslasten.....	111
Abbildung 6.14: Spannungsverteilung unter Bremsbelastung	111
Abbildung 6.15: Trennungsmöglichkeiten im Bereich Stirnwand aus Sicht der Belastung durch Bremsen	111
Abbildung 6.16: Schematischer Versuchsaufbau und Spannungsverteilung bei Bordsteinüberfahrt.....	111

Abbildung 6.17: Trennungsmöglichkeiten im Bereich durch Überfahren einer Bordsteinkant	
Abbildung 7.1: Ablaufplan der Zusammenführung	
Abbildung 7.2: Vorgehen zur Zusammenfassung d Priorisierungen	
Abbildung 7.3: Bereiche für Platzierung der Schnitt	
Abbildung 7.4: Übersicht der Lageanforderungen d	
Abbildung 7.5: Übersicht der Lageanforderungen d	
Abbildung 7.6: Vergleich Ergebnisse der Spannung mit den Skalierungen 1 und 4.....	
Abbildung 7.7: Schnittstellenlage nach Veränderung	
Abbildung 7.8: Frontmodul ohne und mit Hilfsrahme	
Abbildung 7.9: Ergebnis der Schnittstellenpositionie	
Abbildung 8.1: Ablaufplan des Gestaltungsprozesse	
Abbildung 8.2: Ein- und Ausgangsgrößen des geom	
Abbildung 8.3: Prozess der geometrischen Gestaltu Informationsquellen.....	
Abbildung 8.4: Unterschiedliche Positionen des Sch	
Abbildung 8.5: Schnittstelle zwischen Frontmodul u Säule	
Abbildung 10.1: Skizze des strukturellen Aufbaus de	
Abbildung 10.2: Soletta mit an A-Säule (links) bzw. N	
Abbildung 10.3: Unterschiedliche Abschlusselemente Soletta	
Abbildung 10.4: Derivatbildendes Heck des FIAT Rit	
Abbildung 10.5: Italdesign Capsula	
Abbildung 10.6: Ford Contour.....	
Abbildung 10.7: Opel Twin.....	
Abbildung 10.8: Patent FR1181574 von Bela Barenyi	
Abbildung 10.9: Concept 92 der Firma Styling Interna	
Abbildung 10.10: Mercedes Benz Vario Reasearch C	
Abbildung 10.11: Opel MAXX	
Abbildung 10.12: Konzeptideen aufbauend auf dem O	
Abbildung 10.13: Citroën Pluriel	
Abbildung 10.14: Variabilität des Pluriel	
Abbildung 10.15: DaimlerChrysler Mo-Car	

g der	Abbildung 6.17: Trennungsmöglichkeiten im Bereich Stirnwand aus Sicht der Belastung durch Überfahren einer Bordsteinkante	118
..... 60		
..... 61	Abbildung 7.1: Ablaufplan der Zusammenführung der Anforderungen.....	122
..... 62	Abbildung 7.2: Vorgehen zur Zusammenfassung der Einzellösungen mit Hilfe der	
..... 63	Priorisierungen	124
..... 63	Abbildung 7.3: Bereiche für Platzierung der Schnittstellen	128
Crash	Abbildung 7.4: Übersicht der Lageanforderungen der ersten Priorität.....	130
Crash	Abbildung 7.5: Übersicht der Lageanforderungen der zweiten Priorität.....	132
..... 65		
..... 66	Abbildung 7.6: Vergleich Ergebnisse der Spannungsverteilung bei Bordsteinüberfahrt mit den Skalierungen 1 und 4.....	133
..... 76		
..... 79	Abbildung 7.7: Schnittstellenlage nach Veränderung der Ausgangsstruktur	134
..... 79		
..... 80	Abbildung 7.8: Frontmodul ohne und mit Hilfsrahmen.....	135
..... 80	Abbildung 7.9: Ergebnis der Schnittstellenpositionierung.....	136
..... 80	Abbildung 8.1: Ablaufplan des Gestaltungsprozesses der Schnittstellen	137
..... 80	Abbildung 8.2: Ein- und Ausgangsgrößen des geometrischen Gestaltungsprozesses...	139
..... 80	Abbildung 8.3: Prozess der geometrischen Gestaltung und benötigte	
..... 86	Informationsquellen.....	142
..... 89	Abbildung 8.4: Unterschiedliche Positionen des Scheibenrahmenfußes.....	143
..... 91	Abbildung 8.5: Schnittstelle zwischen Frontmodul und Grundmodul oben im Knoten A-Säule.....	144
..... 97		
..... 103	Abbildung 10.1: Skizze des strukturellen Aufbaus der Soletta.....	149
..... 106	Abbildung 10.2: Soletta mit an A-Säule (links) bzw. Mittelpfosten (rechts).....	149
..... 107	Abbildung 10.3: Unterschiedliche Abschlusselemente im Front- und Heckbereich der Soletta	150
..... 110		
..... 111	Abbildung 10.4: Derivatbildendes Heck des FIAT Ritmo VSS:.....	150
..... 112	Abbildung 10.5: Italdesign Capsula	151
..... 113	Abbildung 10.6: Ford Contour.....	151
..... 113	Abbildung 10.7: Opel Twin.....	152
..... 114	Abbildung 10.8: Patent FR1181574 von Bela Barenyi.....	152
..... 115	Abbildung 10.9: Concept 92 der Firma Styling International.....	153
..... 116	Abbildung 10.10: Mercedes Benz Vario Reasearch Car	154
..... 116	Abbildung 10.11: Opel MAXX.....	154
..... 116	Abbildung 10.12: Konzeptideen aufbauend auf dem Opel MAXX	154
..... 116	Abbildung 10.13: Citroën Pluriel	155
..... 117	Abbildung 10.14: Variabilität des Pluriel	155
..... 117	Abbildung 10.15: DaimlerChrysler Mo-Car	156

Abbildung 10.16: Fahrschemel des FIAT Dual Frame Prinzips mit Lagerung des Aufbaus in acht Punkten.....	157
Abbildung 10.17: Lagerung des Aufbaus in den Punkten minimaler Schwingungsamplituden.....	157
Abbildung 10.18: BMW Z22.....	158
Abbildung 10.19: Variantenbildung in Form und Größe.....	158
Abbildung 10.20: Unterschiedliche Fahrzeugvarianten des Super Mini.....	159
Abbildung 10.21: Modulare Karosserie aus fünf Elementen und virtueller Prototyp.....	159
Abbildung 10.22: Aufbau der Plattform des GM AUTONomy.....	160
Abbildung 10.23: Plattform und Karosserie des GM AUTONomy.....	161
Abbildung 10.24: ULSAB-AVC.....	161
Abbildung 10.25: Fiat Split Frame.....	162
Abbildung 10.26: IDEA Mega Modules.....	162
Abbildung 10.27: Vorderwagen und Fertigungsablauf BMW 5er Serie.....	163
Abbildung 10.28: Fahrzeugderivate mit identischen Bepankungsteilen.....	163
Abbildung 10.29: Grundfahrzeug mit zwei möglichen Zusatzbauten und drei Dachlängen.....	163
Abbildung 10.30: Grundfahrzeug mit drei unterschiedlichen Hüten.....	163
Abbildung 10.31: Zwei mögliche Karosseriederivate.....	163
Abbildung 10.32: Explosionszeichnung des modular aufgebauten Fahrzeugs.....	163
Abbildung 10.33: Zweiteilige Karosseriestruktur bestehend aus Rumpfkarosserie und Hut.....	163
Abbildung 10.34: Fahrzeug mit variablem Radstand.....	163
Abbildung 10.35: Dreiteilige Rohbaustruktur.....	163
Abbildung 10.36: Fahrgastzellenmodul und dreiteilige Karosseriestruktur.....	163
Abbildung 10.37: Fahrzeug mit Antriebs- und Verlängerungsmodul.....	163
Abbildung 10.38: Aus drei Bausteinen aufzubauendes anpassbares Fahrzeug.....	163
Abbildung 10.39: Voll bestücktes Vorderwagenmodul.....	163
Abbildung 10.40: Karosserie bestehend aus einer Vielzahl Einzelmodule.....	163
Abbildung 10.41: Fahrzeug mit variablem Radstand und nicht verwendeter Strukturbauteile.....	163
Abbildung 10.42: aus dreizehn Modulen herstellbarer Kunststoffkarosserie.....	163
Abbildung 10.43: Derivatherstellung durch Trennung der Karosserie in zwei Module.....	163
Abbildung 10.44: Grundfahrzeug mit vier unterschiedlichen Heckaufsatzmodulen.....	163
Abbildung 10.45: Modular Aufgebauter Rahmen für Fahrzeuge.....	163

Abbildung 10.46: Grundfahrzeug mit unterschiedlic
Abbildung 10.47: Fahrzeug mit von hinten einschlie
Abbildung 10.48: Gesamtfahrzeug bestehend aus
Abbildung 10.49: Rahmenstruktur und Baukastenü
Abbildung 10.50: Karosserie bestehend aus drei B Mittelbauteil.....
Abbildung 10.51: Vierteilige modulare Karosseriestr
Abbildung 10.52: Karosserie aus drei Modulen, sen
Abbildung 10.53: Fahrzeugstruktur aus Guss- und F
Abbildung 10.54: Fahrzeug mit variabler Länge und
Abbildung 10.55: Aus drei Elementen aufgebautes I
Abbildung 10.56: Karosserie aus sechs Rohbaumoc
Abbildung 10.57: Karosserie mit Tragstruktur aus vi
Abbildung 10.58: Karosserie in Zwiebelschalen-Auft
Abbildung 10.59: zweiteilige Tragstruktur für eine Kr

agerung des	157	Abbildung 10.46: Grundfahrzeug mit unterschiedlichen Heckmodulen	174
.....	157	Abbildung 10.47: Fahrzeug mit von hinten einschiebbaren Heckaufsatzmodulen.....	175
.....	158	Abbildung 10.48: Gesamtfahrzeug bestehend aus 18 Modulen	175
.....	158	Abbildung 10.49: Rahmenstruktur und Baukastenübersicht nach Dornhöfer	176
ini.....	159	Abbildung 10.50: Karosserie bestehend aus drei Bauteilen und Umformprozess für das Mittelbauteil	176
ueller Prototyp	159	Abbildung 10.51: Vierteilige modulare Karosseriestruktur in sechs Aufbauvarianten	177
.....	160	Abbildung 10.52: Karosserie aus drei Modulen, senkrechte Trennebenen	178
.....	161	Abbildung 10.53: Fahrzeugstruktur aus Guss- und Profilbauteilen.....	178
.....	161	Abbildung 10.54: Fahrzeug mit variabler Länge und Verschiebemechanismus	179
.....	162	Abbildung 10.55: Aus drei Elementen aufgebautes Fahrzeugchassis.....	179
.....	162	Abbildung 10.56: Karosserie aus sechs Rohbaumodulen	180
rie.....	163	Abbildung 10.57: Karosserie mit Tragstruktur aus vier großformatigen Teilmodulen	180
llen.....	165	Abbildung 10.58: Karosserie in Zwiebelschalen-Aufteilung	181
ten und drei	165	Abbildung 10.59: zweiteilige Tragstruktur für eine Kraftwagenkarosserie	181
.....	166		
.....	166		
Fahrzeugs.....	167		
mpfkarosserie und	167		
.....	168		
.....	168		
struktur.....	169		
.....	169		
es Fahrzeug	170		
.....	170		
module	171		
wendeter	171		
karosserie	172		
erie in zwei Module ...	172		
aufsatzmodulen	173		
.....	173		