

Entwicklung einer Methode zur anforderungsgerechten Werkstoffauswahl und Strukturauslegung von PKW-Karosserien im Multi-Material-Design

Von der Naturwissenschaftlich - Technischen Fakultät
der Universität Siegen
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Marco Grote
geb. am 25.11.1985 in Lübbecke

Tag der mündlichen Prüfung:

26. April 2018

Referent:

Professor Dr.-Ing. Xiangfan Fang

Koreferentin:

Professorin Dr.-Ing. Tamara Reinicke

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation und Zielsetzung	1
1.2	Vorgehensweise und Struktur der Arbeit.....	2
2	Stand der Technik bei Karosseriewerkstoffen und Multi-Material-Bauweisen.....	5
2.1	Anforderungen an und Entwicklungsziele für Karosserien	5
2.2	Werkstoffe und Verfahren.....	7
2.2.1	Stahl.....	7
2.2.2	Aluminium.....	10
2.2.3	Faserverstärkte Kunststoffe (FVK).....	12
2.3	Aktuelle Mischbaukonzepte	17
2.3.1	Karosseriebaugruppen als hybride Konzepte	17
2.3.2	Gesamtfahrzeugkonzepte.....	18
3	Existierende Methoden der Werkstoffauswahl und des Strukturentwurfs.....	25
3.1	Methoden der anforderungsgerechten Werkstoffauswahl	26
3.1.1	Ashby-Diagramme.....	26
3.1.2	Design Advisor	27
3.1.3	Vorgehensweise zur Bewertung von Werkstoffkonzepten von BMW und fka.....	27
3.1.4	Methodische Vorgehensweise zur Werkstoffauswahl durch den Vergleich der Bauteilanforderungen und der Werkstoffdaten.....	28
3.1.5	Werkstoffkonzept Karosserie (WeKoKa) von Thyssen Krupp Steel	30
3.1.6	Anisotropie-Methode nach Durst	30
3.1.7	Weiterentwicklungen der Methode zur Anisotropie-Methode	35
3.2	Methoden zur Unterstützung des konzeptionellen Strukturentwurfs.....	40
3.2.1	Ältere Methoden auf Basis von stark vereinfachten Fahrzeugmodellen	40
3.2.2	Vorgehensweise zur Betrachtung von Knotenstrukturen.....	41
3.2.3	SFE-Concept.....	42
3.3	Kombinierte Verfahren.....	45
3.3.1	Anwendung von SFE-Concept in Framework-basierten Entwicklungsprozessen.....	45
3.3.2	Visual Crash Studio	45
3.3.3	Methodische Bewertung von biegebelasteten Leichtbaustrukturen.....	47
3.4	Zusammenfassung und Defizite	48
4	Wissenschaftlicher Ansatz für einen neuen Prozess der Werkstoffauswahl und des Strukturentwurfs.....	51
5	Entwicklung einer Vorgehensweise zur Vorbewertung von Bauteilen auf Basis..... vereinfachter Karosseriestrukturmodelle.....	55

5.1	Ableitung eines vereinfachten Strukturmodells.....	55
5.2	Bewertung der Aussagegüte des vereinfachten Strukturmodells.....	60
5.3	Methode zur Vorauswahl von Bauteilen für eine Leichtbaubetrachtung durch alternative Werkstoffe	63
5.3.1	Verwendete Werkzeuge und Software	63
5.3.2	Sensitivitätsanalysen und Anwendung	65
6	Betrachtung der Anisotropie zur Auslegung von FVK Bauteilen	67
6.1	Defizite bestehender Vorgehensweisen mit Anisotropiekennwert	67
6.2	Weiterentwicklung und analytische Herleitung einer modifizierten Vorgehensweise	69
6.2.1	Integration der Spannungskomponente in z-Richtung	69
6.2.2	Integration des Kraftflusses zur blechdickenabhängigen Analyse	72
6.2.3	Gewichtung bei der Berechnung des Referenzwinkels	73
6.2.4	Zusammenfassung der analytischen Gleichungen	75
6.3	Implementierung der neuen Vorgehensweise und Erweiterung der Methode zu einem Auslegungswerkzeug	75
6.3.1	Vorgehensweise zur erweiterten Betrachtung von flächigen Strukturen	76
6.3.2	Vorgehensweise zur erweiterten Betrachtung von räumlichen Strukturen	87
7	Entwicklung eines Kennwertes zur quantitativen Beschreibung der Deformationscharakteristik bei einem Crash	95
7.1	Herleitung eines Biegekennwertes	95
7.2	Entwicklung eines Prozesses zur Auswertung von Crashsimulationen mit Hilfe des Biegekennwertes	99
7.3	Veranschaulichung der Funktionsweise anhand von Crashprofilen.....	101
8	Anwendung und Validierung der Methode anhand ausgewählter Beispiele.....	115
8.1	Aluminium Karosserieknoten und Dachquerträger	116
8.2	CFK-Dachquerträger.....	122
8.3	Spritzwand und Bodenblech	126
8.4	Längsträger hinten	131
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	139
9.1	Zusammenfassung	139
9.2	Ausblick	141
10	Literaturverzeichnis	143
11	Anhang	153
11.1	A1: Nomenklatur, Hardpoints und Schnitte des Referenzfahrzeuges	153
11.1.1	Nomenklatur	153
11.1.2	Koordinaten und Abmessungen	156
11.1.3	Schnittbilder der Strukturbauteile des Referenzfahrzeuges.....	159

11.2	A2: Bildung des Referenzvektors.....	164
11.3	A3: Sensitivitätsanalysen weiterer ausgewählter Baugruppen des Referenzfahrzeuges	167