

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis</b>	<b>iv</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung und Ziele . . . . .	2
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
1.3 Vorangegangene Publikationen im Rahmen der Promotion . . . . .	4
<b>2 Anwendungsfeld crashbelastete Strukturen</b>	<b>5</b>
2.1 Insassenschutz . . . . .	5
2.2 Seitlicher Pfahlaufprall . . . . .	6
2.3 Unfälle mit geringfügigem Schaden . . . . .	7
2.4 Einsatzgebiet Rahmenstrukturen . . . . .	9
2.5 Schwierigkeiten bei der Auslegung crashbelasteter Strukturen . . . . .	10
<b>3 Einführung in die Grundlagen der Strukturoptimierung</b>	<b>13</b>
3.1 Algorithmierte Strukturoptimierung . . . . .	13
3.2 Arten der Strukturoptimierung . . . . .	15
3.3 Ground Structure Approach . . . . .	16
3.4 Topologieoptimierung: Dictemethode . . . . .	19
<b>4 Optimierungsverfahren für crashbelastete Strukturen</b>	<b>23</b>
4.1 Problemstellungen und Ziele . . . . .	23
4.2 Form- und Wandstarkenoptimierung . . . . .	24
4.3 Topologieoptimierung . . . . .	25
4.3.1 Methoden der Hybrid Cellular Automata . . . . .	25
4.3.2 Äquivalente statische Ersatzlasten . . . . .	26
4.3.3 Ground Structure Approach - große Verformungen . . . . .	28
4.3.4 Einsatz von geometrischen oder materiellen Sensitivitäten . . . . .	28
4.3.5 Bidirectional Evolutionary Structural Optimization . . . . .	29
4.4 Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung . . . . .	30
4.4.1 Zweidimensionale Graphenbeschreibung . . . . .	31
4.4.2 Heuristiken für laterale Belastung von Profilstrukturen . . . . .	32
4.4.3 Optimierungsablauf und Anwendungsbeispiel . . . . .	35

4.4.4	Weiterfuhrende Arbeiten . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Flexible Graphenbeschreibung für 3D-Rahmenstrukturen</b>	<b>39</b>
5.1	Graphentheorie . . . . .	39
5.2	Dreidimensionale translatorische und rotatorische Transformation . . . . .	41
5.3	Beschreibung der 3D-Graphen-Syntax . . . . .	42
5.3.1	Hierachische Graphenstruktur . . . . .	42
5.3.2	Graphen-Element . . . . .	43
5.3.3	Vertex-Element . . . . .	44
5.3.4	Edge-Element . . . . .	44
5.4	Die Richtung und Orientierung von Profilen . . . . .	46
5.5	Extrusion entlang von Bahnkurven . . . . .	47
5.6	Generierung von Strukturknoten . . . . .	49
5.6.1	Abstandsbestimmung zwischen Geometrie und Verbindungspunkt .	50
5.6.2	Starre Verbindungsknoten . . . . .	51
5.7	Generierung nachgiebiger Verbindungsknoten . . . . .	52
5.8	Erzeugung eines rechenfähigen Modells . . . . .	61
5.9	Durchdringungsprüfung von Geometrie im Optimierungsprozess . . . . .	63
<b>6</b>	<b>Erweiterte Graphenfunktionen</b>	<b>68</b>
6.1	Geometrische Restriktionen . . . . .	68
6.2	Symmetrie des Graphen . . . . .	69
6.3	Dimensionierungsvariablen . . . . .	70
6.4	Formvariablen . . . . .	70
6.5	Skalierung des Querschnitts . . . . .	73
<b>7</b>	<b>Heuristiken zur Optimierung crashbelasteter Rahmenstrukturen</b>	<b>74</b>
7.1	Abstutzen schnell deformierender Edges . . . . .	75
7.2	Nutzen von Deformationsräumen Zug und Druck . . . . .	78
7.3	Teilen langer Edges . . . . .	80
7.4	Ausgleichen der Energiedichte und Loschen unbelasteter Edges . . . . .	80
7.5	Skalieren der Wandstärken und Glätten des Graphen . . . . .	82
7.6	Auswertung von Simulationsdaten . . . . .	83
7.7	Strategien zur besseren Verbindmöglichkeit . . . . .	84
7.8	Unterscheidung zwischen stark dynamischen und statischen Lastfällen . . . . .	85
<b>8</b>	<b>Ablauf der Graphen- und Heuristikbasierten Topologieoptimierung</b>	<b>86</b>
8.1	Funktionsweise des Optimierungsablaufs . . . . .	86
8.2	Ahnlichkeit von Entwurfsvorschlägen durch aktive Heuristiken . . . . .	88

8.3	Innere Optimierungsschleife . . . . .	89
8.3.1	Grundlegende Strategien für verschiedene Ziele . . . . .	89
8.3.2	Aktivierung von Restriktionen . . . . .	91
8.3.3	Anzahl von Rechnungen und Iterationen . . . . .	91
8.4	Interpolation und Approximation mit Radial Basis Funktionen . . . . .	92
8.5	Optimierungsverfahren Sequential Response Surface Method . . . . .	95
8.6	Software Schnittstellen im Prozess . . . . .	98
<b>9</b>	<b>Praktische Anwendung und Demonstration der methodischen Prinzipien</b>	<b>100</b>
9.1	Minimiere die Verschiebung – unter Biegung belasteter Rahmen . . . . .	101
9.1.1	Parameteränderung der Massenrestriktion . . . . .	107
9.1.2	Prozessunsicherheit . . . . .	107
9.2	Starrer Pfahl trifft Rahmenstruktur mittig . . . . .	108
9.2.1	Minimiere die maximale Kontaktkraft . . . . .	109
9.2.2	Variation Masse Pfahl – Minimiere die Kontaktkraft . . . . .	112
9.2.3	Minimiere die Strukturmasse . . . . .	115
9.2.4	Prozessunsicherheit des Zielfunktionswerts . . . . .	118
9.3	Minimiere die Kontaktkraft bei einer Inlay-Struktur . . . . .	119
9.3.1	Aenderung der Intrusionsrestriktion und Bauraumlänge . . . . .	124
9.3.2	Diskussion . . . . .	126
9.4	Layout Findung im Bereich eines Vorderwagens . . . . .	127
9.4.1	Minimiere die Kontaktkraft . . . . .	133
9.4.2	Diskussion . . . . .	138
<b>10</b>	<b>Kritik, Diskussionspunkte und Ausblick</b>	<b>140</b>
10.1	Finden von Optima in der heuristikbasierten Optimierung und komplexe Zusammenhänge von Variablen . . . . .	140
10.2	Aufbau der mechanischen Struktur . . . . .	141
10.3	Robustheit der mechanischen Modelle . . . . .	142
10.4	Die verwendeten Heuristiken . . . . .	143
10.5	Ausblick . . . . .	144
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>146</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>149</b>
<b>Anhang</b>		<b>157</b>
A – Materialkarte Aluminium . . . . .	157	
B – Optimierungshistorie: Variation der Masse des Pfahls, Beispiel 2 . . . . .	158	
C – Deformationsbilder: Variation der Masse des Pfahls, Beispiel 2 . . . . .	159	
D – Auflösungsänderung: komplexe Durchdringungsprüfung . . . . .	160	