

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	iv
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Ziele	2
1.2 Aufbau der Arbeit	3
1.3 Vorangegangene Publikationen im Rahmen der Promotion	4
2 Anwendungsfeld crashbelastete Strukturen	5
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
3 Einführung in die Grundlagen der Strukturoptimierung	13
3.1 Algorithmierte Strukturoptimierung	13
3.2 Arten der Strukturoptimierung	15
3.3 Ground Structure Approach	16
3.4 Topologieoptimierung: Dichtemethode	19
4 Optimierungsverfahren für crashbelastete Strukturen	23
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	Weiterführende Arbeiten	37
5	Flexible Graphenbeschreibung für 3D-Rahmenstrukturen	39
5.1	Graphentheorie	39
5.2	Dreidimensionale translatorische und rotatorische Transformation	41
5.3	Beschreibung der 3D-Graphen-Syntax	42
5.3.1	Hierarchische 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
6	Erweiterte Graphenfunktionen	68
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
7	Heuristiken zur Optimierung crashbelasteter Rahmenstrukturen	74
7.1	Abstützen 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 Löschen unbelasteter Edges	80
7.5	Skalieren der Wandstärken und Glätten des Graphen	82
7.6	Auswertung von Simulationsdaten	83
7.7	Strategien zur besseren Verbindungsmöglichkeit	84
7.8	Unterscheidung zwischen stark dynamischen und statischen Lastfällen	85
8	Ablauf der Graphen- und Heuristikbasierten Topologieoptimierung	86
8.1	Funktionsweise des Optimierungsablaufs	86
8.2	Ähnlichkeit 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
9	Praktische Anwendung und Demonstration der methodischen Prinzipien	100
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	Änderung 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
10	Kritik, Diskussionspunkte und Ausblick	140
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
11	Zusammenfassung	146
	Literaturverzeichnis	149
	Anhang	157
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