

Inhalt

Kurzfassung	IV
Abstract	V
Danksagung	VI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Einführung in das Thema.....	1
1.2 Ziele der Arbeit	3
1.3 Anforderungen an die Arbeit.....	4
1.4 Struktur der Arbeit.....	4
2 Einordnung in den Stand der Technik.....	7
2.1 Entwicklungsprozess für Gussbauteile	7
2.2 Strukturoptimierung.....	8
2.2.1 Ablauf von Strukturoptimierungen und mathematische Definition.....	9
2.2.2 Klassifizierung von Strukturoptimierungen.....	10
2.2.3 Lösungsverfahren für Strukturoptimierungen	13
2.2.4 Topologieoptimierung.....	14
2.3 Gießprozesse für Fahrwerkskomponenten	23
2.3.1 Kokillengießverfahren	23
2.3.2 Herstellprozess	25
2.3.3 Gussfehler und resultierende Anforderungen des Gießverfahrens	25
2.3.4 Konstruktive Maßnahmen zur Verbesserung der Gießbarkeit	28
2.3.5 Gießprozesssimulation	32
2.4 Strukturoptimierungen mit gießtechnischen Restriktionen	34
2.4.1 Gliederungssystematik für gießtechnische Strukturoptimierungen.....	34
2.4.2 Übersicht über die bisherigen Optimierungsansätze	35
2.4.3 Geometrische gießtechnische Regeln.....	36

2.4.4	Strukturoptimierungen mit Erstarrungssimulation	38
2.4.5	Strukturoptimierungen mit Formfüllsimulationen	39
2.4.6	Multidisziplinäre Strukturoptimierungen für Gussbauteile.....	39
2.5	Einordnung der eigenen Arbeit	41
3	Grundlagen der in dieser Arbeit verwendeten Verfahren.....	43
3.1	Topologieoptimierung auf Basis von Heuristiken	43
3.1.1	Heuristiken als Grundlage der Topologieoptimierung.....	43
3.1.2	Verwendete Konzepte in der Topologieoptimierung	44
3.1.3	Allgemeine Funktionsweise der Topologieoptimierung	47
3.1.4	Fazit der Grundlagen der Topologieoptimierung mit LEOPARD	49
3.2	Numerische Simulation des Herstellprozesses mittels CFD	49
3.2.1	Erhaltungsgleichungen	50
3.2.2	Mehrphasenmodelle	51
3.2.3	Mittelung der Strömung für Phasenübergänge und Mehrfluidströmungen	53
3.2.4	Modellierung des Dendritenarmabstands	60
3.2.5	Veränderliche Fluideigenschaften.....	61
3.2.6	Modellierung turbulenten Strömungsverhaltens	63
3.2.7	Numerische Umsetzung	67
3.2.8	Vorhandene Grundlagen in OpenFOAM	74
3.2.9	Fazit der Grundlagen zur Strömungssimulation	76
4	Entwicklung einer eigenen Gießsimulation	79
4.1	Ziele und Anforderungen an die Gießsimulation	79
4.2	Erstellung eines Gesamtmodells zur Gießprozesssimulation.....	80
4.2.1	Modellierung der Phasen	80
4.2.2	Ablauf und Simulation des Prozesses.....	82
4.2.3	Modell der Formfüllung und Erstarrung	84
4.3	Vergleich der eigenen Gießsimulation mit kommerzieller Software	91

4.3.1	Vergleich eines einfachen Modells	91
4.3.2	Vergleich Radträger	96
4.4	Fazit der eigenen Gießsimulation	103
5	Einbindung von Herstellrestriktionen in die Topologieoptimierung	105
5.1	Möglichkeiten zur Umsetzung heuristischer Fertigungsrestriktionen	105
5.2	Konzept zur Umsetzung von Fertigungsrestriktionen	110
5.3	Optimierungsablauf mit Integration der eigenen Gießsimulation	111
5.3.1	Modellaufbau und automatischer Prozess	111
5.3.2	Ablauf der gussgerechten Optimierung	114
5.3.3	Ermittlung der relevanten Herstanforderungen	116
5.4	Umsetzung der geometrischen Regeln für das Gießen	118
5.4.1	Entformungswinkel	120
5.4.2	Minimale Taschenrößen	122
5.4.3	Ebene Formteilung	124
5.4.4	Minimale Lochrößen	126
5.4.5	Minimale Wandstärken	128
5.4.6	Sicherstellung der Entlüftung	129
5.4.7	Glättung der Oberfläche	130
5.4.8	Weitere Heuristiken zur Bauteilanpassung	134
5.4.9	Fazit der geometriebasierten Regeln	135
5.5	Umsetzung der simulationsbasierten Regeln	135
5.5.1	Vermeidung von Kaltlauf	136
5.5.2	Reduzierung von Turbulenzen und Verwirbelungen	138
5.5.3	Vermeidung erstarrungsbedingter Defekte	143
5.5.4	Fazit der simulationsbasierten Regeln	147
5.6	Erweiterungen der Methode und Integration in den Entwicklungsprozess	147
5.6.1	Anpassung des Gießprozesses	148
5.6.2	Möglichkeiten zum Übertragen auf andere Guss- und Fertigungsverfahren ..	153

5.7	Fazit der Einbindung von Herstellrestriktionen in die Topologieoptimierung.....	156
6	Anwendung der gussgerechten Topologieoptimierung.....	157
6.1	Auswirkungen von grundsätzlichen Fertigungsrestriktionen.....	157
6.2	Optimierung eines Radträgers	163
6.3	Optimierung eines Schwenklagers mit automatischer Speisergenerierung.....	170
6.4	Einbindung der Topologieoptimierung in den Entwicklungsablauf.....	178
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	183
7.1	Zusammenfassung.....	183
7.2	Ausblick.....	185
8	Literaturangaben	187
9	Abkürzungen und Formelzeichen	211
10	Anhang	219