

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungs- und Symboerverzeichnis	III
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation	1
1.2 Aufbau der Dissertation	2
2 Stukturoptimierung von fräsbaren Bauteilen	3
2.1 Einführung in die Strukturoptimierung	3
2.1.1 Begriffsdefinitionen	3
2.1.2 Arten der Strukturoptimierung	4
2.1.3 Verfahren der Topologieoptimierung	7
2.2 Fertigungsverfahren Fräsen	9
2.2.1 Definition und Einordnung des Verfahrens	9
2.2.2 Charakterisierung des 3D-FräSENS	9
2.3 Fertigungsrestriktionen am Beispiel der 3-Achs-Bearbeitung	11
2.3.1 Vermeidung unzugänglicher Bearbeitungspunkte	11
2.3.2 Vermeidung dünnwandiger Strukturen	13
2.4 Forschungsarbeiten zur Optimierung fräsbarer Strukturen	14
2.4.1 Gewährleistung der Werkzeugzugänglichkeit	14
2.4.2 Gewährleistung minimaler Wandstärken	17
3 Topologieoptimierung mit der Level-Set-Methode	19
3.1 Formulierung des Optimierungsproblems	19
3.2 Sensitivitätsanalyse	21
3.2.1 Konzept der Formableitung	21
3.2.2 Formableitung der mittleren Nachgiebigkeit	24
3.2.3 Formableitung des Volumens	25
3.3 Einführung in die Level-Set-Methode	25
3.3.1 Strukturbeschreibung durch eine Level-Set-Funktion	26
3.3.2 Entwicklung der Strukturränder	27
3.3.3 Lösung der Level-Set-Entwicklungsgleichung	28
3.3.4 Reinitialisierung	31
3.3.5 Velocity Extension	32
3.4 Optimierungsalgorithmus	34
3.4.1 Die erweiterte Lagrange-Methode	34
3.4.2 Wahl der Entwicklungsgeschwindigkeit	36

3.4.3	Konvergenzkriterium	36
3.5	Optimierungsablauf	37
3.6	Optimierungsbeispiele	39
3.6.1	Zweidimensionaler Kragträger	41
3.6.2	Dreidimensionaler Kragträger	42
4	Integration von Fräsurestriktionen in die Level-Set-Optimierung	47
4.1	Ansatz zur Erfüllung der Fertigungsrestriktionen	47
4.2	Erkennung von Restriktionsverletzungen	48
4.2.1	Werkzeugzugänglichkeit	49
4.2.2	Dünnwandige Strukturbereiche	51
4.2.3	Definition der Interpolationswege	53
4.3	Mathematische Formulierung der Fertigungsrestriktionen	59
4.3.1	Überführung der Fertigungsrestriktionen in ein Potential .	59
4.3.2	Reinitialisierung des Potentials	61
4.4	Sensitivitätsanalyse	62
4.5	Berücksichtigung der Fertigungsrestriktionen in der Optimierung .	63
4.5.1	Erweiterung des Optimierungsproblems	63
4.5.2	Bildung der neuen Entwicklungsgeschwindigkeit	64
4.5.3	Maßnahmen zur Verbesserung des Konvergenzverhaltens .	65
4.6	Eingliederung der Fertigungsrestriktionen in den Optimierungsablauf	68
5	Numerische Anwendungen	71
5.1	Details zur numerischen Umsetzung	71
5.2	Würfel	75
5.2.1	Optimierung ohne Fertigungsrestriktionen	76
5.2.2	Optimierung mit Zugänglichkeitsrestriktion	77
5.3	Kragträger	81
5.3.1	Optimierung ohne Fertigungsrestriktion	81
5.3.2	Optimierung unter verschiedenen Mindestwandstärken .	81
5.3.3	Optimierung unter Zugänglichkeits- und Wandstärkenrestriktion	82
5.4	Lagerhalterung aus der Luftfahrtindustrie	90
5.4.1	Optimierung ohne Fertigungsrestriktionen	93
5.4.2	Optimierung mit Fertigungsrestriktionen	93
5.4.3	Spannungsanalyse der optimierten Lagerhalterung	96
6	Zusammenfassung und Ausblick	99
Literaturverzeichnis		102

Anhang

A Herleitung der Formableitung eines Gebietsfunktional	108
B Lösung der Entwicklungsgleichung	109
B.1 Differenzenquotienten	109
B.2 Eindimensionales Lösungsschema	109
C Eulersche Drehmatrizen	110