

	Seite
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Additive Fertigung	3
2.1.1 Prozesskette	5
2.1.2 STL-Format.....	6
2.2 Fused Deposition Modeling	7
2.2.1 Verfahrensprinzip	8
2.2.2 Prozessparameter	9
2.3 Schwindung und Schwindungskompensation im FDM	12
2.3.1 Aufbau von Polymeren	12
2.3.2 Schwindung von Polymeren.....	12
2.3.3 Schrumpfen von Polymeren	13
2.3.4 Schwindung im FDM-Prozess.....	15
2.3.4.1 Einfluss der Prozessparameter.....	16
2.3.4.2 Einfluss der Bauteilgeometrie	17
2.3.5 Ermittlung von Maßabweichungen.....	18
2.3.6 Simulation des Schwindungsverhaltens	19
2.3.7 Ansätze zur Schwindungskompensation	21
2.3.7.1 Lineare Schwindungskompensation.....	21
2.3.7.2 Geometriespezifische Schwindungskompensation	22
2.3.7.3 Schwindungssuppression	22
2.4 Statistische Versuchsplanung.....	23
2.5 Dimensionsanalyse	24
2.6 Forschungsbedarf und Zielsetzung	25
3 Untersuchung des Schwindungsverhaltens im FDM-Prozess	27
3.1 Maschine	27
3.2 Materialien.....	29
3.2.1 Prozesstemperaturen und DSC-Messungen	29
3.2.2 pVT-Verhalten	31
3.2.3 Wärmeausdehnungskoeffizient.....	32
3.2.4 Spezifische Wärmekapazität	32
3.2.5 Wärmeleitfähigkeit	33
3.3 Schwindungsverhalten anhand einer Elementarzelle	33

3.3.1	Einfluss der Schichtzeit	35
3.3.2	Skalierungsfaktoren für die Elementarzelle	37
3.3.3	Skalierbarkeit der Elementarzelle	38
3.4	Schwindungsverhalten von Rasterlinien.....	39
3.4.1	Validierung der getroffenen Annahme	39
3.4.2	Analyse des Schwindungsverhaltens von Rasterlinien mittels statistischer Versuchsplanung	42
3.4.2.1	Entwicklung eines einheitlichen Vorgehens am Beispiel von ABS-M30	42
3.4.2.2	Identifikation relevanter Einflussfaktoren und Optimierung des statistischen Versuchsplans.....	46
3.4.2.3	Ergebnisse und Validierung.....	49
3.4.3	Analyse der konkaven Wölbung senkrechter Flächen im FDM-Prozess ..55	55
3.4.3.1	Einflussfaktoren.....	57
3.4.3.2	Messtechnische Erfassung der konkaven Wölbung senkrechter Flächen im FDM-Prozess	57
3.4.3.3	Modellierung der konkaven Wölbung senkrechter Flächen im FDM-Prozess	58
3.5	Modellierung des Schwindungsverhaltens im FDM mittels Dimensionsanalyse ..60	60
3.5.1	Betrachtete Einflussgrößen	61
3.5.2	Messtechnische Erfassung der Maßabweichungen	64
3.5.3	Bestimmung der Pi-Größen..	65
3.5.4	Zusammenhänge zwischen Zielgröße und Einflussgrößen.....	66
3.5.4.1	Y-Position	67
3.5.4.2	Konturlänge	70
3.5.4.3	Z-Position	72
3.5.4.4	Wanddicke	75
3.5.4.5	Schichtdicke	77
3.5.5	Modell des Schwindungsverhaltens im FDM.....	80
3.5.6	Validierung des Modells	82
4	Adaptive Skalierung	87
4.1	Theoretische Grundlagen und Randbedingungen	87
4.2	Programmtechnische Umsetzung der adaptiven Skalierung	90
4.2.1	Vorbereitung, Auswertung und Weiterverarbeitung der Bauteildaten	90
4.2.2	Anwendung der adaptiven Skalierung	91
4.2.3	Erzeugung der adaptiv skalierten STL-Datei	94
4.3	Analyse des Berechnungsaufwands.....	96
4.4	Validierung der adaptiven Skalierung.....	97
4.4.1	Vergleich der adaptiven Skalierung mit unskalierten Prüfkörpern.....	98
4.4.2	Vergleich der adaptiven Skalierung mit linear skalierten Prüfkörpern...	100

5	Zusammenfassung	102
6	Ausblick	104
	Literaturverzeichnis.....	105
	Anhang.....	111