

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung und Problemstellung.....	1
2 Stand der Technik	4
2.1 Additive Fertigungsverfahren	4
2.2 Fused Deposition Modeling	6
2.2.1 Prozessbeschreibung	6
2.2.2 Prozessparameter	9
2.2.3 Einflussfaktoren	12
2.2.3.1 Mensch	12
2.2.3.2 Material	13
2.2.3.3 Messung	14
2.2.3.4 Maschine	15
2.2.3.5 Millieu	17
2.2.3.6 Methode	18
2.3 Mechanische Eigenschaften	20
2.4 Geometrische Eigenschaften	22
2.4.1 Maßabweichungen	24
2.4.1.1 Lineare Elemente	24
2.4.1.2 Kreisförmige Elemente	26
2.4.2 Formabweichungen	27
2.4.3 Oberflächenabweichungen	28
2.5 Schwindung von Kunststoffen	28
3 Zielsetzung	31
4 Versuchsaufbau und -durchführung	33
4.1 Materialien	33
4.1.1 ABS-M30	33
4.1.2 Polycarbonat	36
4.2 Ermittlung der mechanischen Eigenschaften	37
4.2.1 Zugprüfung	37
4.2.2 Biegeprüfung	39
4.2.3 Schlagbiegeprüfung	40
4.2.4 Druckprüfung	40
4.3 Methode zur Ermittlung der geometrischen Eigenschaften	40
4.3.1 Probekörper	41
4.3.1.1 Lineare Elemente	41
4.3.1.2 Kreisförmige Elemente	43
4.3.2 Messmittel und -methode	44

4.3.2.1	Bügelmessschraube	45
4.3.2.2	Koordinatenmessmaschine	45
5	Temperaturmessung	48
5.1	Versuchsaufbau	49
5.1.1	Inaktiver Zustand	49
5.1.2	Aktiver Zustand	50
5.2	Messergebnisse	50
5.2.1	Inaktiver Zustand	50
5.2.2	Aktiver Zustand	52
5.2.3	Heatmaps	52
5.3	Verbesserung der Temperaturverteilung	53
5.3.1	Strömungssimulation Ausgangszustand	53
5.3.2	Konstruktion einer verbesserten Luftleitung	55
5.3.3	Strömungssimulation mit verbesserter Luftführung	57
5.3.4	Ergebnisse	58
5.4	Düsenumgebungstemperatur	59
6	Mechanische Bauteileigenschaften	61
6.1	Bauteileigenschaften mit Standardaufbauparametern	61
6.1.1	Porosität	62
6.1.1.1	Dichte	62
6.1.1.2	Computertomographie	64
6.1.2	Zugprüfung	65
6.1.3	Biegeprüfung	67
6.1.4	Schlagbiegeprüfung	68
6.1.5	Druckprüfung	68
6.2	Einfluss der Strangablagestrategie	70
6.2.1	Zugprüfung	71
6.2.2	Biegeprüfung	76
6.2.3	Schlagprüfung	79
6.2.4	Druckprüfung	80
6.2.5	Porositätsanalyse	83
6.3	Vergleich zum Standardverfahren Spritzgießen	84
6.3.1	Zugprüfung	85
6.3.2	Biegeprüfung	86
6.3.3	Schlagprüfung	87
6.3.4	Druckprüfung	87
6.4	Einfluss der Schichtzeit	88
6.5	Einfluss der Bauteilpositionierung	91
6.5.1	Position im Bauraum	92

6.5.2	Anordnung im Bauraum	93
7	Geometrische Bauteileigenschaften	97
7.1	Lineare Maßelemente	97
7.1.1	Ausgangszustand für Standardprozessparameter	99
7.1.2	Untersuchung der Prozessfähigkeit	102
7.1.3	Einfluss des Werkstoffs	104
7.1.4	Einflussfaktoren auf die Maßabweichungen	105
7.1.5	Einfluss der Schichtdicke	110
7.1.6	Einfluss des Strangabstands	111
7.1.7	Einfluss des Stützmaterials	114
7.1.8	Einfluss der Schichtzeit	117
7.1.9	Einfluss der Bauraumposition	120
7.1.10	Einfluss der Bauraumtemperatur und Luftströmung	125
7.1.11	Einfluss der Bauteilanordnung	129
7.1.12	Einfluss der Komplexität und des Volumens	130
7.1.13	Einfluss der FDM-Maschine	134
7.1.14	Einfluss von Maschinenkomponenten	136
7.2	Kreisförmige Maßelemente	140
7.2.1	Ausgangszustand für Standardparameter	141
7.2.2	Einfluss der Strangablage	143
7.2.3	Einfluss des Werkstoffs	146
7.2.4	Einfluss des Strangabstands	147
7.2.5	Einfluss des Bauteilvolumens	150
7.3	Einfluss der Schwindung	152
7.3.1	Experimenteller Ansatz	153
7.3.2	Simulativer Ansatz	155
7.3.2.1	Simulation der FDM-Düse	155
7.3.2.2	pVT-Verhalten	159
7.4	Optimierung der geometrischen Eigenschaften	161
7.5	Validierung	163
8	Handlungsempfehlungen	167
8.1	Anwendungsbeispiel	170
8.1.1	Mechanik	170
8.1.2	Geometrie	172
8.1.3	Ökonomie	173
8.2	Vergleich zu Dissertationen mit Bezug zum FDM-Verfahren	174
9	Zusammenfassung und Ausblick	177
10	Literaturverzeichnis	178