

Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Einleitung und Motivation	1
2	Stand der Technik	2
2.1	Additive Fertigung	2
2.2	Extrusionsbasierte additive Fertigungsverfahren	3
2.3	Kunststoff Freiformen	3
2.3.1	Verfahrensprinzip und Maschinenkomponenten	3
2.3.2	Prozessparameter	6
2.3.2.1	Schichtdicke	6
2.3.2.2	Formfaktor	7
2.3.2.3	Überlappung	7
2.3.2.4	Rasterwinkel und Rasterfolgewinkel	8
2.3.2.5	Bauteilorientierung	8
2.3.2.6	Prozesstemperaturen	9
2.3.2.7	Dosiervolumen	9
2.3.2.8	Staudruck	10
2.3.2.9	Austragswert	10
2.3.3	Verfügbare Werkstoffe	10
2.3.4	Materialqualifizierung (Standardvorgehen)	11
2.3.5	Einflussgrößen auf die resultierende Bauteilqualität	13
2.3.5.1	Mechanische Bauteileigenschaften	13
2.3.5.2	Geometrische Bauteileigenschaften	15
2.3.5.3	Transferfähige Einflussgrößen aus dem FDM	15
2.4	Forschungsbedarf und Zielsetzung	16
3	Fertigungsrandbedingungen im Kunststoff Freiformen	19
3.1	Beeinflussbare Fertigungsrandbedingungen	19
3.1.1	Formfaktor	19
3.1.1.1	Wellenbildung auf der Bauteiloberfläche	20
3.1.1.2	Geometrieabhängiger Formfaktor	21
3.1.1.3	Verschiedene Formfaktoren in einem Fertigungsauftrag	23
3.1.2	Austragswert	25
3.1.2.1	Untere Grenze des Austragswertes	25
3.1.2.2	Toleranzband des Austragswertes	25
3.1.3	Weitere Prozessparameter	27
3.1.3.1	Zonen der Zylindertemperierung	27
3.1.3.2	Bauraumtemperatur	28
3.1.3.3	Staudruck	28

3.1.3.4	Schichtdicke	29
3.1.3.5	Überlappung zwischen Raster- und Konturlinien	29
3.1.4	Einfluss der Schichtzeit	30
3.1.4.1	Einfluss auf die mechanischen Bauteileigenschaften.....	31
3.1.4.2	Einfluss auf die geometrischen Bauteileigenschaften	33
3.2	Nicht beeinflussbare Fertigungsrandbedingungen.....	34
3.2.1	Düsenverschleiß.....	34
3.2.2	Untersuchung der Temperaturverteilung auf der Bauplattform	37
3.2.2.1	Vorgehensweise bei der Temperaturermittlung.....	38
3.2.2.2	Auswertung der Temperaturverteilung auf der Bauplattform	40
3.2.2.3	Welligkeit von Probekörpern in der Z-Bauteilausrichtung.....	43
3.2.3	Verweilzeit im schmelzeförmigen Zustand.....	45
3.2.3.1	Modellierung der Verweilzeit.....	46
3.2.3.2	Einflussgrößen auf die Verweilzeit.....	48
3.2.3.3	Strategien zur Minimierung der Verweilzeit	50
4	Untersuchung und Optimierung der mechanischen Bauteileigenschaften	52
4.1	Statistischer Versuchsplan zur Analyse ausgewählter Prozessparameter	52
4.1.1	Erstellung eines statistischen Versuchsplans	53
4.1.1.1	Auswahl und Definition der Faktorstufen	54
4.1.1.2	Herstellung der Probekörper.....	56
4.1.2	Auswertung der Prozessparametereinflüsse	57
4.1.2.1	Zugfestigkeit und Elastizitätsmodul	58
4.1.2.2	Bruchdehnung.....	60
4.1.3	Optimierung der XY-Bauteilausrichtung.....	62
4.1.4	Modellvalidierung	63
4.2	Einfluss des Raster- und Rasterfolgewinkels	64
4.2.1	Herstellung und Untersuchung von Zugstäben.....	65
4.2.2	Verwendung einer plattenförmigen Probekörpergeometrie	67
4.3	Untersuchung und Optimierung der Z-Bauteilausrichtung	69
4.3.1	Analyse der mechanischen Eigenschaften der Z-Bauteilausrichtung	69
4.3.2	Optimierungsansätze	71
4.3.2.1	Steigerung des Tropfenvolumens.....	72
4.3.2.2	Verwendung eines wanddickenabhängigen Formfaktors.....	77
4.4	Fazit	80
5	Untersuchung und Optimierung der geometrischen Bauteileigenschaften.....	81
5.1	Theoretische Grundlagen	81
5.1.1	Schwindung im Allgemeinen	81
5.1.2	Einflussfaktoren auf die Schwindung in der additiven Fertigung	82
5.1.3	Schwindungskompensation im KF	83

5.2	Schwindungsverhalten von ABS-M30 im Kunststoff Freiformen.....	84
5.2.1	Prüfkonzept	85
5.2.2	Auswertung der Maßabweichungen von linearen Bauteilelementen.....	87
5.2.3	Analyse der prozessbedingten Einflussfaktoren im KF	89
5.2.3.1	Einfluss der Schichtzerlegung	89
5.2.3.2	Einfluss der ersten Bauteilschicht (Offset-Wert).....	92
5.2.3.3	Instabile Bauteilbereiche (Schwingungen) bei großen Probekörperlängen	93
5.2.3.4	Einfluss des Formfaktors	95
5.3	Optimierte Methode zur Bestimmung der Skalierungsfaktoren.....	95
5.3.1	Optimierung für die x- und y-Koordinatenrichtung	96
5.3.2	Optimierung für die z-Koordinatenrichtung	97
5.3.3	Optimierung der Berechnungsmethode	99
5.3.4	Validierung	100
6	Zusammenfassende Fertigungsrichtlinien	103
6.1	Optimierte Vorgehensweise für die Materialqualifizierung	103
6.1.1	Optimierter rechnerischer Formfaktor	107
6.1.1.1	Modellierung	108
6.1.1.2	Validierung	112
6.1.2	Mathematische Formfaktorstufenberechnung	115
6.1.2.1	Modellierung und Umsetzung	116
6.1.2.2	Validierung	119
6.1.3	Systematische Optimierung des Formfaktors	121
6.1.4	Vorteile der optimierten Vorgehensweise	124
6.2	Gezielte Prozessparameteroptimierung für ein spezifisches Bauteil	124
6.2.1	Düsentemperatur.....	125
6.2.2	Formfaktor	126
6.2.3	Weitere Einflussfaktoren	127
6.2.4	Konstruktive Fertigungsrichtlinien	128
7	Zusammenfassung	129
8	Ausblick	131
	Literaturverzeichnis	132
	Anhang 139	
A1	Technische Materialdatenblätter	139
A2	Prozessparameter	142
A3	Einfluss der Schichtzeit auf die mechanischen Bauteileigenschaften.....	144
A4	Optimierung der mechanischen Eigenschaften in Z-Bauteilausrichtung.....	145

A5	Geometrische Bauteileigenschaften - Probekörpergeometrien	147
A6	Optimierte Methode zur Bestimmung der Skalierungsfaktoren.....	149