

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	V
Symbolverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufbau der Arbeit	4
2 Grundlagen, Stand der Forschung und Technik	5
2.1 Leichtbau mit Faserkunststoffverbunden	5
2.1.1 Komponenten eines FKV	6
2.1.2 Wirkungsweise von Endlosfasern	7
2.1.3 Berechnung von unidirektional verstärkten eFKV	8
2.1.4 Schwachstellen innerhalb eines FKV	10
2.2 Laser-Sintern mit Kunststoffen	11
2.2.1 Maschinentechnik	11
2.2.2 Prozessfenster und Prozessablauf	13
2.2.3 Materialien für das Laser-Sintern	16
2.2.4 Bauteil- und Prozesseigenschaften	17
2.3 Wärmeübertragung bei freier Konvektion mit Innenströmung	22
2.4 Additive Fertigung von endlosfaserverstärkten FKV	24
2.4.1 Materialextusion	24
2.4.2 Badbasierte Photopolymerisation	30
2.4.3 Pulverbettbasierte Verfahren	33
2.5 Bewertung des aktuellen Stands der Forschung und Technik	34
2.5.1 Zusammenfassung und Bewertung	35
2.5.2 Herausforderungen und Randbedingungen im Laser-Sinterprozess im Kontext einer automatisierten Endlosfaserintegration	37

3	Zielsetzung und Vorgehensweise	39
3.1	Zielsetzung und Abgrenzung	39
3.2	Vorgehensweise	40
4	Laser-Sinterprozess für eFKV	43
4.1	Systematische Herleitung eines Maschinenkonzepts	43
4.1.1	Konkretisierung des Entwicklungsziels	44
4.1.2	Anforderungskollektiv und Randbedingungen	45
4.1.3	Funktionsanalyse	46
4.1.4	Konzeptentwicklung und -auswahl	49
4.2	Laser-Sintermaschine mit automatisierter Roving-Integration	59
4.2.1	Maschinentechnik und Planung der Roving-Pfade	60
4.2.2	Prozessablauf der automatisierten Roving-Integration	64
4.2.3	Einfluss- und Zielgrößen der automatisierten Roving-Integration	66
4.3	Herleitung initialer Betriebspunkte	72
4.3.1	Festlegung initialer Düsenparameter	73
4.3.2	Auslegung von Wärmequelle 3	81
4.3.3	Experimentelle Validierung der initialen Betriebspunkte	98
4.3.4	Zusammenfassung der Erkenntnisse	101
5	Prozesscharakterisierung und -optimierung	104
5.1	Systematische Analyse zum Entstehungsprozess der WEZ	104
5.1.1	Experimentelles Vorgehen	105
5.1.2	Ergebnisse und Diskussion	110
5.1.3	Zusammenfassung der Erkenntnisse	115
5.2	Modellbasierte Optimierung der Roving-Integration	116
5.2.1	Simulationsbasierte Bestimmung eines optimierten Betriebspunktbereichs	117
5.2.2	Experimentelle Analyse des optimierten Betriebspunktbereichs	136

5.2.3	Zusammenfassung der Erkenntnisse	144
5.3	Charakterisierung der Roving-Bauteil-Prozess-Interaktionen	145
5.3.1	Einfluss des Energieeintrags	145
5.3.2	Einfluss der Roving-Trennung	149
5.3.3	Zusammenfassung der Erkenntnisse	151
6	Mechanische Zugeigenschaften gemäß DIN EN ISO 527	153
6.1	Prozessseitige Optimierung des Faservolumengehalts	153
6.1.1	Experimentelles Vorgehen	153
6.1.2	Ergebnisse und Diskussion	155
6.2	Bestimmung von mechanischen Zugeigenschaften	162
6.2.1	Experimentelles Vorgehen	162
6.2.2	Ergebnisse und analytischer Vergleich	163
6.3	Versagensform und identifizierte Schwachstellen	165
7	Bewertung des LS-Prozesses mit Roving-Integration	167
7.1	Einordnung der mechanischen Eigenschaften	167
7.2	Herstellung von branchenspezifischen Demonstratoren	170
7.3	Bewertung des LS-Prozesses mit Roving-Integration	175
8	Zusammenfassung und Ausblick	177
Publikationsliste des Autors		X
Literaturverzeichnis		XV
Abbildungsverzeichnis		XLV
Tabellenverzeichnis		LII
Anhang		LV
Anhang A: Beispielhafter NC-Code		LV
Anhang B: Temperatur-Zeit-Verlauf des Pyrometers		LVI
Anhang C: Material- und Prozessparameter zur Probenherstellung		LVII
Anhang D: Ansätze zur Prozess- und Bauteiloptimierung		LVIII

Anhang E: Wahrscheinlichkeitsnetze des Split-Plot-Versuchsplans	LIX
Anhang F: Messparameter für das Präzisions-CT-Gerät YXLON-CT	LX
Anhang G: Identifizierte Schwachstellen an den LS-Bauteilen	LXI