

Inhaltsübersicht

Inhaltsübersicht	I
Inhaltsverzeichnis.....	V
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis	XIX
Formelzeichenverzeichnis	XXIII
Zusammenfassung.....	XXV
Summary	XXVII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Zielsetzung und Konzeptionierung der Forschungsfragen	5
1.3 Wissenschaftliche Einordnung und Aufbau der Arbeit	9
2 Grundlagen des Betrachtungsbereichs.....	17
2.1 Nachhaltigkeitsbetrachtung additiver Fertigung	17

2.2	Technologische Grundlagen der additiven Fertigung	28
2.3	Prozessketten additiver Fertigungssysteme	32
2.4	Modellierungen von Produktionsprozessen	43
2.5	Resultierende Problemstellung und Handlungsbedarf aus der Praxis.....	52
3	Bestehende Ansätze	55
3.1	Objektbereichbezogene Ansätze	56
3.2	Prozessbezogene Ansätze	64
3.3	Bauteilbezogene Strukturanalyse.....	76
3.4	Maschinenbezogene Strukturanalyse	91
3.5	Diskussion der Defizite der bestehenden Ansätze	96
4	Konzeptionierung des Modells.....	101
4.1	Einflussgrößen auf die Festigkeit von Grenzflächen	104
4.2	Versuchshypothesen.....	109
4.3	Materialien und Methoden	114
4.4	Versuchsplanung, -durchführung und -ergebnisse.....	123
4.5	Oberflächenanalyse	134
4.6	Grenzflächenanalyse	141
4.7	Bruchstellenanalyse	154
4.8	Thermische Einflüsse an Grenzflächen	165
4.9	Zwischenfazit.....	176
5	Detaillierung des Modells	179
5.1	Modellierung des Festigkeitsprofils	179

5.2 Modelloptimierung zur Maximierung der Festigkeit 186

5.3 Zwischenfazit 193

6 Anwendung und kritische Reflexion..... 195

6.1 Überprüfung der Festigkeitsvorschrift 195

6.2 Anwendbarkeitsüberprüfung..... 202

7 Zusammenfassung und Ausblick 207

8 Literaturverzeichnis..... 211

Anhang 229

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	XI
---	----

Abkürzungsverzeichnis	XIX
-----------------------------	-----

Formelzeichenverzeichnis	XXIII
--------------------------------	-------

Zusammenfassung.....	XXV
----------------------	-----

1 Einleitung	1
---------------------------	----------

1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
--	---

1.2 Zielsetzung und Konzeptionierung der Forschungsfragen	5
---	---

1.3 Wissenschaftliche Einordnung und Aufbau der Arbeit	9
--	---

2 Grundlagen des Betrachtungsbereichs.....	17
---	-----------

2.1 Nachhaltigkeitsbetrachtung additiver Fertigung	17
--	----

2.1.1 Supply-Chain-Ebene.....	18
-------------------------------	----

2.1.2 Produktzyklus-Ebene.....	23
--------------------------------	----

2.1.3 Produktdesign-Ebene	25
---------------------------------	----

2.2 Technologische Grundlagen der additiven Fertigung	28
---	----

2.2.1 Einführung in additive Fertigungssysteme	28
--	----

2.2.2	Verfahrensprinzip Materialextrusion (MEX)	29
2.3	Prozessketten additiver Fertigungssysteme	32
2.3.1	Pre-Process	33
2.3.2	In-Process	37
2.3.3	Post-Processing	41
2.4	Modellierungen von Produktionsprozessen	43
2.4.1	Modellierungsansätze bei der Materialextrusion	43
2.4.2	Anwendungsbezogene Grundlagen	46
2.4.3	Modellvalidierung	50
2.5	Resultierende Problemstellung und Handlungsbedarf aus der Praxis	52
3	Bestehende Ansätze	55
3.1	Objektbereichsbezogene Ansätze	56
3.1.1	Rapid Prototyping	56
3.1.2	Designflexibilität und Funktionsintegration	57
3.1.3	Kundenanpassung und Produktindividualisierung	58
3.1.4	Nachhaltige Fertigung	58
3.2	Prozessbezogene Ansätze	64
3.2.1	Materialeffizienz	65
3.2.2	Oberflächenbeschaffenheit	70
3.2.3	Prozesszeiten und Bauraum	71
3.2.4	Mechanische Eigenschaften durch Anisotropie und Delamination	72
3.2.5	Segmentorientiertes CAM	75
3.3	Bauteilbezogene Strukturanalyse	76

3.3.1	Demonstrationsbauteil für den multidimensionalen Aufbau.....	76
3.3.2	Charakterisierung von Segmentübergängen.....	77
3.3.3	Struktureller Aufbau von Grenzflächen.....	80
3.3.4	Porenvolumen.....	82
3.3.5	Mechanisches Eigenschaftsprofil.....	84
3.3.6	Verbundstruktur zwischen den Druckschichten.....	87
3.4	Maschinenbezogene Strukturanalyse.....	91
3.4.1	Charakteristiken der Gestellbauweisen.....	91
3.4.2	Systeme mit hohen Freiheitsgraden.....	94
3.5	Diskussion der Defizite der bestehenden Ansätze.....	96
3.5.1	Zusammenhang und Diskussion der Defizite.....	97
4	Konzeptionierung des Modells.....	101
4.1	Einflussgrößen auf die Festigkeit von Grenzflächen.....	104
4.2	Versuchshypothesen.....	109
4.3	Materialien und Methoden.....	114
4.3.1	Probenkörper.....	114
4.3.2	Versuchssystem.....	116
4.3.3	Verwendeter Werkstoff: Polylactide (PLA).....	117
4.3.4	Optische und taktile Messsysteme.....	121
4.3.5	Material-Prüfsysteme.....	122
4.4	Versuchsplanung, -durchführung und -ergebnisse.....	123
4.4.1	Linearitätsüberprüfung.....	124
4.4.2	Vorauswahl.....	126
4.4.3	Ergebnisdarstellung der Wirkzusammenhänge.....	131

4.5	Oberflächenanalyse	134
4.5.1	Linienrauheiten	134
4.5.2	Oberflächenrauheiten & 3D-Topologie	136
4.5.3	Lichtmikroskopische Untersuchung	137
4.5.4	Bewertung des Treppenstufengeometriemodells	139
4.6	Grenzflächenanalyse	141
4.6.1	Lichtmikroskopische Untersuchung	141
4.6.2	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung	146
4.6.3	Computertomographische Untersuchung	147
4.6.4	Dünnschliffuntersuchung	149
4.6.5	Zwischenfazit zur Grenzflächenanalyse	153
4.7	Bruchstellenanalyse	154
4.7.1	Mikroskopische Untersuchung	154
4.7.2	Schmelzkontaktuntersuchung	161
4.8	Thermische Einflüsse an Grenzflächen	165
4.8.1	Global und lokal wirkende Temperaturfelder	165
4.9	Zwischenfazit	176
5	Detaillierung des Modells	179
5.1	Modellierung des Festigkeitsprofils	179
5.1.1	Bewertung der Modellierungsansätze für die Festigkeitsvorschrift	179
5.1.2	Ermittlung der Modellparameter	181
5.1.3	Ergebnisse und Diskussion	183
5.2	Modelloptimierung zur Maximierung der Festigkeit	186

5.2.1	Definition des Optimierungsproblems	186
5.2.2	Ergebnisse und Diskussion	189
5.2.3	Kollisionsvermeidung	190
5.3	Zwischenfazit	193
6	Anwendung und kritische Reflexion.....	195
6.1	Überprüfung der Festigkeitsvorschrift	195
6.1.1	Überprüfung der Vorhersagegenauigkeit.....	195
6.1.2	Einflussanalyse des Prozesses	199
6.1.3	Bewertung des Betrachtungsrahmens	201
6.2	Anwendbarkeitsüberprüfung.....	202
6.2.1	Beispielbauteil	203
6.2.2	Übertragbarkeit in die industrielle Fertigung	204
7	Zusammenfassung und Ausblick	207
Anhang		229