

Etablierung neuer Materialsysteme in einem Pulver- Binder-3D-Druckprozess

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik

der Universität Rostock

vorgelegt von:

Christian Polzin,

geb. am 21.03.1980 in Perleberg

Wedel, 22.06.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	2
2	Stand der Technik	3
2.1	Grundlagen und Datenaufbereitung	3
2.1.1	Systematik der Fertigungsverfahren	3
2.1.2	Datenaufbereitung	6
2.2	Derzeitige Prozesse und Materialien	9
2.2.1	Stereolithographie (SL)	9
2.2.2	Digital Light Processing (DLP)	10
2.2.3	Poly-Jet Modeling (PJM)	11
2.2.4	Selektive Laser Sintering (SLS)	12
2.2.5	Selektive Laser Melting (SLM) und Elektron Beam Melting (EBM)	13
2.2.6	Fused Deposition Modeling (FDM)	14
2.2.7	Direct Inkjet Printing	15
2.3	Pulver-Binder-3D-Druck (3DP)	16
2.3.1	Tropfenerzeuger	20
2.3.2	Beschichtungsmechanismen (Recoatingprinzipien)	22
	Schichtauftrag mit Rakel	22
	Schichtauftrag mit Walze	22
	Schichtauftrag durch Pulverschacht mit Schwingklinge	23
2.3.3	Pulvermaterialien	24
	Pulverherstellung Metalle	24
	Pulverherstellung Keramiken	26

Pulverherstellung Kunststoffe	28
2.3.4 Binderflüssigkeiten.....	28
Chemisch reagierende Klebstoffe	29
Physikalisch abbindende Klebstoffe	36
2.3.5 Nachbehandlungsprozeduren – Post Processing	38
Infiltration	38
Lackieren.....	38
Sinterung	38
3 Stand der Prozessentwicklung im 3DP	42
4 Eigener Ansatz zur Prozessentwicklung.....	45
4.1 Zieldefinition und Materialauswahl.....	47
4.1.1 Materialauswahl	48
4.1.2 Binderauswahl	50
Druckmodulspezifische Randbedingungen.....	50
4.2 Materialcharakterisierung und Vorversuche	51
4.2.1 Charakterisierung des Pulvers.....	54
Fließverhalten.....	55
4.2.2 Charakterisierung der Binderflüssigkeit.....	60
Bestimmung der Viskosität	60
Bestimmung der Oberflächenspannung	62
4.2.3 Reaktivitätsuntersuchung/ Reaktionskinetik	64
4.2.4 3D-Druck-Vorversuch.....	66
Aufbau.....	68
Vorbereiten des Prüfstands	73
Herstellung von Druckprüfzylindern	74
4.3 Maschinenparameterfindung und 3D-Druckversuche	76

4.3.1	Recoatingversuch	76
4.3.2	Flüssigbinderdosierung	78
4.3.3	3DP mit neuem Materialsystem	79
	Prüfkörper und Beurteilungsaspekte	79
	Grünteilfestigkeit und Nachbehandlungsprozeduren	81
4.3.4	Applikationsuntersuchungen	82
5	Experimentelle Studie	83
5.1	Zieldefinition und Materialauswahl.....	85
5.1.1	Auswahl des Materials	86
5.1.2	Auswahl des Binders	87
5.2	Materialcharakterisierung und Vorversuche	89
5.2.1	Charakterisierung der Pulvermischung	91
5.2.2	Charakterisierung der Binderflüssigkeit.....	93
5.2.3	Reaktionskinetikversuch	94
5.2.4	3DP-Vorversuch.....	95
5.3	Maschinenparameterfindung/ 3DP-Versuche	96
5.3.1	Recoatingversuche	96
5.3.2	Flüssigbinderdosierung	99
5.3.3	3DP mit neuem Materialsystem	100
5.3.4	Applikationsuntersuchungen	103
6	Diskussion	108
6.1	Beurteilung des Prozessschemas	108
6.2	Beurteilung der experimentellen Studie	110
6.3	Beurteilung der neu entwickelten Versuche	111
6.3.1	Reaktionskinetikversuch	112

6.3.2	3D-Druckvorversuch.....	112
6.3.3	Recoatingversuch.....	113
7	Zusammenfassung und Ausblick	114
8	Literaturverzeichnis	115
9	Abbildungsverzeichnis	126