

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Vorgehensweise	3
2 Stand der Wissenschaft und Technik	7
2.1 Additive Fertigung	7
2.2 Pulverbettbasiertes Schmelzen von Kunststoffen	8
2.2.1 Lasersintern	11
2.2.2 High Speed Sintering	12
2.2.3 Multi Jet Fusion	13
2.2.4 Selective Absorption Fusion	15
2.2.5 Weitere Verfahren	15
2.3 Spezifizierung des High Speed Sinterings	16
2.3.1 Potentiale	16
2.3.2 Einflussgrößen	17
2.3.3 Polymere	23
2.3.4 Tinten	25
2.3.5 Bauteileigenschaften	26
2.4 Energieeintrag im High Speed Sintering	29
2.4.1 Wärmetransportmechanismen	30
2.4.2 Modelle des Energieeintrags	32
2.4.3 Bauteilstruktur	37
2.4.4 Emission und Absorption	39
3 Zusammenfassende Bewertung und Handlungsbedarf	43
4 IR-Absorberauswahl und -bewertung	47
4.1 Ermittlung der IR-Absorberanforderungen	47
4.2 Vorauswahl der IR-Absorber	48
4.2.1 Kohlenstoffbasierte Materialien	49
4.2.2 Metalle	50
4.2.3 Keramiken	51
4.3 Feinauswahl der IR-Absorber	53
4.4 Bewertung der IR-Absorber	53
5 Versuchseinrichtung und -durchführung	61
5.1 Bauteilfertigung	61
5.1.1 Anlagentechnik	61
5.1.2 Ausgangsmaterialien	64
5.1.3 Positionierung und Orientierung der Prüfkörper	65
5.1.4 Herstellung und Aufbereitung der Prüfkörper	66

5.2 Bestimmung der Flächenenergiedichte, Emission und Absorption	67
5.2.1 Thermische Leistungsmessung der Flächenenergiedichte	68
5.2.2 UV-VIS-NIR-Spektroskopie der Emission	69
5.2.3 UV-VIS-NIR-Spektroskopie der Absorption	70
5.3 Bestimmung der Materialeigenschaften	71
5.3.1 Thermogravimetrie	71
5.3.2 Dynamische Differenzkalorimetrie	71
5.3.3 Rasterelektronenmikroskopie	72
5.3.4 Kontaktwinkelmessung	72
5.4 Bestimmung der Bauteileigenschaften	73
5.4.1 Bauteildichte	73
5.4.2 Mechanische Eigenschaften	74
5.4.3 Form- und Maßhaltigkeit	74
5.4.4 Oberflächenrauheit	76
5.4.5 Farbabstufung	76
5.5 Vorgehensweise und Versuchsmethodik	77
5.5.1 Statistische Versuchsplanung	77
5.5.2 Versuchsbeschreibung	81
6 Versuchsergebnisse und Diskussion	91
6.1 Bestimmung des Energieeintrags	91
6.1.1 Flächenenergiedichte des IR-Strahlers	91
6.1.2 Absorptionsmessung bei unterschiedlichen Graustufen	92
6.1.3 Emissionsmessung des IR-Strahlers	94
6.1.4 Berechnung der Flächen- und Volumenenergiedichte	95
6.2 Ermittlung der Haupteinflussgrößen	97
6.2.1 Bauteildichte	97
6.2.2 Mechanische Eigenschaften	98
6.2.3 Form- und Maßhaltigkeit	103
6.2.4 Oberflächenrauheit	104
6.2.5 Definition der Haupteinflussgrößen	105
6.3 Prozessanalyse der Haupteinflussgrößen	105
6.3.1 Bauteildichte	106
6.3.2 Mechanische Eigenschaften	107
6.3.3 Form- und Maßhaltigkeit	111
6.3.4 Oberflächenrauheit	112
6.3.5 Farbabstufung	113
6.3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Haupteinflussgrößen	114
6.4 Erprobung neuer Tinten mit LaB ₆ als IR-Absorber	114
6.4.1 Ermittlung des Trägermediums	114
6.4.2 Ermittlung der Partikelmenge	116
6.5 Bestimmung der Emissionseigenschaften weiterer IR-Strahler	118

7 Validierung der Versuchsergebnisse	121
7.1 Erweiterung der HSS-Maschine	121
7.2 Ermittlung der Bauteileigenschaften	123
7.2.1 Bauteildichte	124
7.2.2 Mechanische Eigenschaften	125
7.2.3 Form- und Maßhaltigkeit	127
7.2.4 Oberflächenrauheit	129
7.2.5 Farbabstufung	129
7.3 Diskussion der Forschungsergebnisse	130
7.3.1 Einsatz neuer Tinten und des IR-Absorbers LaB ₆	130
7.3.2 Einsatz weiterer IR-Strahler	133
8 Schlussbetrachtung	135
8.1 Zusammenfassung	135
8.2 Ausblick	136
9 Conclusion	139
9.1 Summary	139
9.2 Outlook	140
Abkürzungsverzeichnis	141
Formelzeichenverzeichnis	143
Abbildungsverzeichnis	145
Tabellenverzeichnis	149
Literaturverzeichnis	151
Anhang	165
A1 Standardparameter HSS-Maschine	165
A2 Flächenenergiedichtemessung	165
A3 Absorptionswerte zur Berechnung der Flächenenergiedichte	165
A4 Ergebnisse der Blöcke 1–6	166
A5 Ergänzende Netzdiagramme Block 2	172
A6 Absorptionsmessungen Pulver-Tinten-Gemisch	173
A7 Kristallinität	174
Betreute studentische Arbeiten	175
Lebenslauf	176
Veröffentlichungen	177