

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis	V
Formelverzeichnis	VI
1 Einleitung und Motivation.....	1
2 Grundlagen und Stand der Forschung und Technik	4
2.1 Grundlagen polymerer Werkstoffe.....	4
2.1.1 Chemische Struktur und Reaktionsmöglichkeiten von Polymeren	4
2.1.2 Klassifizierung polymerer Werkstoffe	5
2.1.3 Modifizierung von Polymeren.....	5
2.2 Einordnung kunststoffverarbeitender Fertigungsverfahren.....	7
2.3 Selektives Lasersintern.....	9
2.3.1 Materialien für das Selektive Lasersintern und deren Anforderungen	9
2.3.2 Verfahrensprinzip	10
2.3.3 Eigenschaften von Pulverwerkstoffen für das Selektive Lasersintern	14
2.3.4 Einflussgrößen und prozessbedingte Fehlerbilder.....	21
2.4 Spritzguss	21
2.4.1 Herstellung und Eigenschaften von Granulaten	22
2.4.2 Verfahrensprinzip	24
2.4.3 Einflussgrößen und prozessbedingte Fehlerbilder.....	25
2.5 Alterung von Kunststoffen	25
2.5.1 Definition und Ursachen der Alterung polymerer Werkstoffe	25
2.5.2 Alterungserscheinungen polymerer Werkstoffe	26
2.6 Wiederverwendung von Kunststoffen.....	27
2.6.1 Differenzierung von Kunststoffabfällen	27
2.6.2 Methoden zur Wiederverwendung von Kunststoffen.....	27
2.6.3 Werkstoffliche Wiederverwendung von Kunststoffen	28
2.6.4 Auswirkungen werkstofflicher Wiederverwendung auf Materialeigenschaften	31
2.7 Rückverfolgung von Kunststoffen	33
2.7.1 Definition und Klassifizierung	33
2.7.2 Anwendungsgebiete und Potenziale.....	35
2.7.3 Vorgehensweise bei der Entwicklung eines Rückverfolgungssystems	35
2.7.4 Rückverfolgungsobjekte.....	37
2.7.5 Physische Rückverfolgungsmethoden für Kunststoffe.....	37
2.7.6 Anforderungen an inhärente Markierungstechnologien für Kunststoffe.....	46
2.8 Zusammenfassung und Handlungsbedarf.....	47

3	Zielsetzung und methodisches Vorgehen.....	49
4	Materialien und Methoden	51
4.1	Materialien.....	51
4.1.1	Sintermaterial	51
4.1.2	Spritzgussmaterial	52
4.1.3	Markierungstechnologien	52
4.2	Materialaufbereitung und -verarbeitung.....	54
4.2.1	Selektive Lasersinter-Verarbeitung	54
4.2.2	Spritzguss-Verarbeitung	56
4.3	Physikalische Untersuchungsmethoden	57
4.3.1	Partikelanalyse.....	57
4.3.2	Schütt- und Klopfdichte	57
4.3.3	Schmelzflussindexmessung.....	58
4.3.4	Sinterdichte.....	59
4.4	Thermoanalytische Untersuchungsmethoden.....	59
4.4.1	Dynamische Differenzkalorimetrie	59
4.4.2	Thermogravimetrische Analyse.....	59
4.5	Mechanische Untersuchungsmethoden	60
4.5.1	Statischer Zugversuch	60
4.5.2	Kerbschlagbiegeversuch.....	61
4.5.3	Vicat-Erweichungstemperatur.....	61
4.6	Bildgebende Untersuchungsmethoden	61
4.6.1	Rasterelektronenmikroskopie	61
4.6.2	Konfokalmikroskopie	62
4.6.3	Farbmestechnik	62
4.7	Künstliche Bewitterungsmethoden.....	63
4.7.1	Methode A – Prüfung der Klimawechselfestigkeit (80 °C/-40 °C).....	63
4.7.2	Methode B – Belichtungsprüfung (Interieur)	63
4.7.3	Methode C – Bewitterung in trocken-heißem Klima (Exterieur).....	64
4.7.4	Methode D – Bewitterung in feucht-warmem Klima (Exterieur)	64
4.8	Spektroskopische Untersuchungsmethoden	64
4.8.1	Tandem-Massenspektroskopie	65
4.8.2	Fluoreszenzspektroskopie.....	65
5	Bewertung der Markierungstechnologien	68
5.1	Methodik zur systematischen Bewertung von Markierungstechnologien.....	68
5.2	Definition der Alternativen und Entwicklung eines hierarchischen Zielsystems.....	68

5.3	Kriteriengewichtung und Zuordnung von Präferenzfunktionen.....	71
5.4	Ermittlung der Outranking-Relationen und Berechnung der Ein- und Ausgangsflüsse.....	72
5.4.1	Anwendung im Selektiven Lasersintern.....	74
5.4.2	Anwendung im Spritzguss.....	74
5.5	Berechnung der Nettoflüsse zur Auswertung nach PROMETHEE-II	74
5.5.1	Anwendung im Selektiven Lasersintern.....	75
5.5.2	Anwendung im Spritzguss.....	75
5.6	Sensitivitätsanalyse	76
5.7	Fazit und Diskussion der Ergebnisse.....	76
6	Initiale Verarbeitung der markierten Materialien.....	78
6.1	Markierung der Materialien und Versuchsdurchführung	78
6.1.1	Herstellung von Masterbatches mit modifizierten Polymeren	78
6.1.2	Herstellung von Masterbatches mit Fluoreszenzpartikeln.....	79
6.1.3	Versuchsdurchführung im Selektiven Lasersintern.....	80
6.1.4	Versuchsdurchführung im Spritzguss.....	80
6.2	Einfluss auf selektierte Materialeigenschaften.....	80
6.2.1	Anwendung im Selektiven Lasersintern.....	81
6.2.2	Anwendung im Spritzguss.....	85
6.3	Einfluss auf selektierte Bauteileigenschaften	88
6.3.1	Anwendung im Selektiven Lasersintern.....	88
6.3.2	Anwendung im Spritzguss.....	97
6.4	Einfluss auf die Nachweisbarkeit der Markierungstechnologien	104
6.4.1	Fluoreszenzpartikel.....	104
6.4.2	Modifizierte Polymere	109
6.5	Fazit und Bewertung der Ergebnisse.....	117
7	Bewitterung der markierten Materialien.....	119
7.1	Einfluss auf die Farbausprägung	119
7.1.1	Anwendung im Selektiven Lasersintern.....	119
7.1.2	Anwendung im Spritzguss.....	122
7.2	Einfluss auf die Nachweisbarkeit der Markierungstechnologien	125
7.2.1	Fluoreszenzpartikel.....	125
7.2.2	Modifizierte Polymere	129
7.3	Fazit und Bewertung der Ergebnisse.....	133
8	Zyklische Verarbeitung der markierten Materialien	135
8.1	Einfluss auf selektierte Materialeigenschaften.....	135
8.1.1	Anwendung im Selektiven Lasersintern.....	135

8.1.2	Anwendung im Spritzguss.....	143
8.2	Einfluss auf selektierte Bauteileigenschaften.....	145
8.2.1	Anwendung im Selektiven Lasersintern.....	145
8.2.2	Anwendung im Spritzguss.....	157
8.3	Einfluss auf die Nachweisbarkeit der Markierungstechnologie	164
8.3.1	Anwendung im Selektiven Lasersintern.....	164
8.3.2	Anwendung im Spritzguss.....	165
8.4	Fazit und Bewertung der Ergebnisse.....	167
9	Konkretisierung der Anwendungsszenarien.....	168
9.1	Definition und Abgrenzung der Projektziele der Anwendungsszenarien.....	168
9.1.1	Szenario 1	168
9.1.2	Szenario 2	168
9.1.3	Szenario 3	169
9.2	Analyse und Definition der Anforderungen der Anwendungsszenarien.....	169
9.3	Charakterisierung der Markierungstechnologien	171
9.4	Definition der Rückverfolgungsprozesse und -daten der Anwendungsszenarien	172
9.4.1	Szenario 1	172
9.4.2	Szenario 2	176
9.4.3	Szenario 3	178
9.5	Fazit und Bewertung der Ergebnisse.....	180
10	Schlussbetrachtungen	181
10.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	181
10.2	Ausblick.....	184
	Literaturverzeichnis.....	186
	Abbildungsverzeichnis	213
	Tabellenverzeichnis.....	218
	Studentische Arbeiten.....	221
	Publikationen des Autors.....	222
	Anhang	223
i	Materialien und Methoden	223
ii	Bewertung der Markierungstechnologien	230
iii	Initiale Verarbeitung der markierten Materialien.....	243
iv	Zyklische Verarbeitung der markierten Materialien	255