

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
1 Einleitung.....	1
1.1 Problematik .....	2
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	3
2 Stand der Technik.....	5
2.1 Fused Deposition Modeling (FDM).....	5
2.1.1 Einflussfaktor Material.....	10
2.1.2 Einflussfaktor Prozess.....	11
2.1.3 Einflussfaktor Maschine .....	14
2.2 Bisherige Publikationen .....	18
3 Materialuntersuchungen .....	21
3.1 Thermische Eigenschaften .....	22
3.1.1 Dynamische Differenzkalorimetrie – DSC .....	22
3.1.2 Thermogravimetrie – TG .....	23
3.1.3 Spezifische Dichte.....	24
3.2 Rheologische Eigenschaften .....	25
3.2.1 Scherviskosität.....	26
3.2.2 Schmelze-Massenfließrate MFR.....	27
3.3 Mechanische Materialeigenschaften .....	27
3.4 Materialqualität .....	28
3.4.1 Qualität unterschiedlicher Chargen .....	28
3.4.2 Einfluss der Materialfeuchte .....	30
3.5 Fazit der Materialuntersuchungen .....	31
4 Festigkeitsuntersuchungen.....	33
4.1 Mechanische Prüfungen.....	33
4.1.1 Zugfestigkeiten (ASTM D638).....	33
4.1.2 Drei-Punkt-Biegefestigkeiten (ASTM D790) .....	35
4.1.3 Schlagzähigkeit nach Izod (ASTM D256).....	36
4.2 Mechanische Kennwerte von FDM-Bauteilen.....	37
4.3 Einflussfaktoren auf die Festigkeitswerte .....	41
4.3.1 Parametervariation seitlich und flach aufgebauter Prüfkörper.....	41
4.3.1.1 Einfluss des Rasterwinkels und der Rasterfolge.....	42
4.3.1.2 Einfluss des Strangabstandes und der Strangbreite.....	48

4.3.1.3	Einfluss der Bindenähte am Beispiel flach aufgebauter Prüfkörper	50
4.3.1.4	Parameteroptimierung seitlich und flach aufgebauter Prüfkörper	51
4.3.2	Parametervariation aufrecht aufgebauter Prüfkörper	53
4.3.2.1	Einfluss der Füllparameter	54
4.3.2.2	Einfluss der Strangbreite	61
4.3.2.3	Einfluss der Bindenähte	63
4.3.2.4	Parameteroptimierung aufrecht aufgebauter Prüfkörper	66
4.4	Einfluss von Umgebungsbedingungen auf die Festigkeitswerte	69
4.4.1	Langzeitbeständigkeit	69
4.4.2	Bewitterungsbeständigkeit	73
4.4.2.1	Künstliche Bewitterung	73
4.4.2.2	Freibewitterung	76
4.4.3	Temperaturabhängige Festigkeitswerte	78
4.5	Fazit der Festigkeitsuntersuchungen	82
5	Prozessuntersuchungen	85
5.1	Fehlermöglichkeits- und Einfluss-Analyse – FMEA	85
5.2	Entwicklung von Prüfkörpern und Festlegung von Messmethoden zur Prozessanalyse	88
5.2.1	Prüfkörperbeschreibung	88
5.2.1.1	Prüfkörper 1: Geometriekörper	88
5.2.1.2	Prüfkörper 2: Kontrolle der Bindenähte	89
5.2.1.3	Prüfkörper 3: Kontrolle der Oberflächengüte	91
5.2.1.4	Prüfkörper 4: Kontrolle der Ablagegenauigkeit	94
5.2.1.5	Prüfkörper 5: Mechanische Festigkeiten	95
5.2.2	Messmethoden	96
5.2.3	Oberflächenmessung und Kennwerte	97
5.3	Ergebnisse	100
5.3.1	Auswirkungen auf den Geometriekörper	100
5.3.2	Auswirkungen auf die Bindenähte	103
5.3.3	Auswirkungen auf die Oberflächengüte	105
5.3.4	Auswirkungen auf die Ablagegenauigkeit	110
5.3.5	Auswirkungen auf die mechanischen Kennwerte	112
5.4	Fazit der Prozessuntersuchungen	114
6	Leichtbauanwendung: Geschlossene Sandwichstrukturen	117
6.1	Leichtbauprinzipien	118
6.1.1	Sandwichstrukturen	118
6.1.1.1	Aufbau einer Sandwichstruktur	118
6.1.1.2	Belastung, Beanspruchung und Versagensarten	121
6.1.2	Bewertung von Leichtbaustrukturen	122

6.1.2.1	Gütekennzahl .....	122
6.1.2.2	Leichtbaukennzahl/Leichtbaugüte .....	122
6.2	Aufbau der FDM-Sandwichstrukturen und deren Festigkeitsprüfung .....	123
6.2.1	Fertigungsrandbedingungen für geschlossene FDM-Bauteile .....	123
6.2.2	Aufbau und Prüfung der Sandwichstrukturen .....	125
6.3	Biegefestigkeiten von FDM-Sandwichstrukturen .....	128
6.3.1	Einfluss der Kerngeometrie .....	129
6.3.1.1	Seitlich aufgebaute Prüfkörper .....	129
6.3.1.2	Flach aufgebaute Prüfkörper .....	131
6.3.1.3	Aufrecht aufgebaute Prüfkörper .....	133
6.3.2	Einfluss der Geometrieparameter .....	134
6.3.2.1	Einfluss der Strukturweite .....	134
6.3.2.2	Einfluss der Strukturwandstärke .....	136
6.3.2.3	Einfluss der Deckschichtdicke .....	138
6.4	Fazit der Leichtbauanwendung.....	140
7	Zusammenfassung und Ausblick .....	143
8	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis .....	147
9	Literaturverzeichnis.....	151
10	Lebenslauf .....	159