

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XV</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Begriffsbestimmung und Verfahrensbeschreibungen</b>	<b>5</b>
2.1. Laseradditive Fertigung . . . . .	5
2.1.1. Prozessbeschreibung . . . . .	6
2.1.2. Schichtinformationen . . . . .	8
2.1.3. Bearbeitungsparameter . . . . .	9
2.1.4. Mechanische Eigenschaften . . . . .	10
2.2. Luftdurchlässige Strukturen . . . . .	13
2.2.1. Klassifizierung von luftdurchlässigen Strukturen . . . . .	14
2.2.2. Laseradditiv gefertigte, luftdurchlässige Strukturen . . . . .	16
2.3. Werkzeugbau und Kunststoffverarbeitung . . . . .	20
2.3.1. Spritzgießprozess . . . . .	20
2.3.2. Aufbau von Spritzgießwerkzeugen . . . . .	24
2.3.2.1. Temperierung . . . . .	25
2.3.2.2. Entlüftung . . . . .	28
2.3.2.3. Entformung . . . . .	29
<b>3. Problemstellung und Lösungsweg</b>	<b>41</b>
<b>4. Herstellung von luftdurchlässigen Strukturen</b>	<b>45</b>
4.1. Anforderungen an die Geometrie von luftdurchlässigen Strukturen . . . . .	45
4.2. Herstellung und Geometrie der luftdurchlässigen Strukturen . . . . .	48
4.2.1. Konzeption der luftdurchlässigen Strukturen . . . . .	48
4.2.2. Herstellung der luftdurchlässigen Strukturen . . . . .	50
4.3. Gestaltung der Werkzeugoberfläche mit luftdurchlässigen Strukturen . . . . .	57
4.4. Nutzung einer Deckschicht . . . . .	58
4.4.1. Dicke der Deckschicht . . . . .	59
4.4.2. Perforation der Deckschicht . . . . .	60
<b>5. Bestimmung der Luftdurchlässigkeit</b>	<b>71</b>
5.1. Grundlagen der Strömungslehre . . . . .	71
5.1.1. Strömungen durch Kanäle . . . . .	71
5.1.1.1. Druckverluste in Strömungen . . . . .	74
5.1.1.2. Einfluss der Wandrauheit auf die Strömung . . . . .	75
5.1.1.3. Einlaufbereich von Strömungen . . . . .	78
5.1.2. Strömungen in Mikrokanälen . . . . .	79

5.2. Experimentelle Bestimmung der Luftdurchlässigkeit . . . . .	80
5.2.1. Versuchsaufbau zur Messung der Durchströmung . . . . .	80
5.2.2. Versuchsauswertung zur Messung der Durchströmung . . . . .	83
5.3. Zusammenfassung der Luftdurchlässigkeit und ihre industrielle Relevanz . . . . .	92
<b>6. Robustheit der Struktur gegen mechanische Belastungen</b> . . . . .	<b>97</b>
6.1. Mechanische Eigenschaften des laseradditiv gefertigten Materials . . . . .	97
6.2. Mögliche Belastungen und Versagensmechanismen in der Anwendung . . . . .	100
6.2.1. Erwartete Belastungsarten . . . . .	100
6.2.2. Bauteilversagen . . . . .	102
6.2.2.1. Bauteilversagen durch seitliche Belastungen der Wände in der Struktur . . . . .	102
6.2.2.2. Bauteilversagen durch Belastungen der Oberseite der Wände in der Struktur . . . . .	104
6.3. Simulation der Verformung durch seitliche Belastungen der Wände . . . . .	106
6.4. Experimentelle Untersuchung des Versagens bei Druck auf das Bauteil . . . . .	112
6.4.1. Versuchsaufbau . . . . .	113
6.4.2. Identifizierung der Merkmale für ein Versagen der luftdurchlässigen Struktur . . . . .	116
6.4.3. Einfluss der Mesostruktur und der Kontaktfläche auf die Robustheit der Struktur . . . . .	122
6.5. Zusammenfassung der mechanischen Robustheit und ihre industrielle Relevanz . . . . .	125
<b>7. Wärmetransport durch die luftdurchlässige Struktur</b> . . . . .	<b>131</b>
7.1. Wärmetransportmechanismen . . . . .	131
7.2. Analytische Herleitung des Wärmetransportes . . . . .	136
7.2.1. Wärmetransport im Einzelpalt . . . . .	138
7.2.2. Wärmetransport im luftdurchlässigen Material . . . . .	141
7.3. Auswirkungen des luftdurchlässigen Materials auf ein technisches System	143
7.4. Zusammenfassung der Wärmeleitung und Relevanz für die Anwendung . . . . .	148
<b>8. Einsatzmöglichkeiten in technischen Anwendungen</b> . . . . .	<b>153</b>
8.1. Einsatz in Spritzgießwerkzeugen . . . . .	153
8.1.1. Realisierung von Druckluftauswerfern mit laseradditiv gefertigten, luftdurchlässigen Strukturen . . . . .	154
8.1.2. Verifizierung der laseradditiv gefertigten luftdurchlässigen Strukturen in Spritzgießwerkzeugen . . . . .	156
8.1.2.1. Druckluftauswerfer in Werkzeugen für technische Funktionsteile . . . . .	156
8.1.2.2. Druckluftauswerfer in Werkzeugen für Verpackungsteile	162
8.1.3. Strukturierung von Oberflächen . . . . .	167
8.1.4. Erfahrungen mit laseradditiv gefertigten, luftdurchlässigen Strukturen in einem Druckluftauswerfersystem . . . . .	171
8.2. Einsatz als Plagiatschutzmerkmal . . . . .	172
8.2.1. Schutzwirkung der luftdurchlässigen Mesostrukturen . . . . .	173
8.2.2. Einsatzmöglichkeit im Kampf gegen Bogus Parts in Flugzeugen .	176
<b>9. Zusammenfassung und Ausblick</b> . . . . .	<b>181</b>

<b>A. Nomenklatur</b>	<b>185</b>
A.1. Formelzeichen . . . . .	185
A.2. Abkürzungen . . . . .	188
<b>B. Weitere Messwerte und Ergebnisse</b>	<b>189</b>
B.1. Messwerte der Durchströmungsmessung . . . . .	189
B.2. Weitere Ergebnisse der Eindringversuche . . . . .	205
<b>Index</b>	<b>207</b>