

# Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VI
TABELLENVERZEICHNIS	X
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XII
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung . . . . .	1
1.2 Zielsetzung . . . . .	4
1.3 Forschungsansatz . . . . .	5
1.3.1 Wissenschaftstheoretische Einordnung . . . . .	5
1.3.2 Forschungsmethodik . . . . .	6
1.3.3 Heuristischer Bezugsrahmen . . . . .	7
1.4 Struktur . . . . .	9
<b>2 Grundlagen des Betrachtungsbereiches</b>	<b>13</b>
2.1 Kunststofftechnik . . . . .	13
2.1.1 Begriffsverständnis und Einordnung . . . . .	13
2.1.1.1 Kunststoff . . . . .	13
2.1.1.2 Kunststofftechnik . . . . .	15
2.1.2 Werkstofftechnik der Kunststoffe . . . . .	16
2.1.2.1 Prozesseigenschaften . . . . .	18
2.1.2.2 Mechanisches Verhalten . . . . .	20
2.1.3 Spritzgießen als Verfahren der Kunststoffverarbeitung . . . . .	23
2.1.3.1 Prototypenwerkzeuge zur Kunststoffverarbeitung . . . . .	24
2.1.3.2 Spritzgießmaschine . . . . .	25
2.1.3.3 Spritzgießzyklus . . . . .	28
2.2 Additive Fertigung . . . . .	30
2.2.1 Begriffsverständnis und Einordnung . . . . .	30
2.2.1.1 Additive Fertigung . . . . .	30
2.2.1.2 Schichtweiser Aufbau . . . . .	31
2.2.1.3 Digitales Material . . . . .	31
2.2.2 Prozesskette der additiven Fertigung . . . . .	31
2.2.2.1 Datenaufbereitung . . . . .	32
2.2.2.2 Prozessdurchführung . . . . .	32

2.2.2.3	Nachbearbeitung . . . . .	34
2.2.3	Additive Fertigungsverfahren . . . . .	34
2.2.3.1	Badbasierte Photopolymersation . . . . .	35
2.2.3.2	Materialextrusion . . . . .	37
2.2.3.3	Freistahl-Materialauftrag . . . . .	39
2.2.4	Werkstoffe für die additive Fertigung . . . . .	41
2.3	Werkzeugbau . . . . .	43
2.3.1	Begriffsverständnis und Einordnung . . . . .	43
2.3.1.1	Werkzeug . . . . .	43
2.3.1.2	Werkzeugbau . . . . .	44
2.3.2	Werkzeugbau in der Produktentwicklung . . . . .	46
2.3.3	Auslegung von Werkzeugen . . . . .	47
2.3.3.1	Rheologische Auslegung . . . . .	48
2.3.3.2	Thermische Auslegung . . . . .	49
2.3.3.3	Mechanische Auslegung . . . . .	50
2.3.4	Werkzeugherstellung . . . . .	50
2.4	Handlungsbedarf aus der Praxis . . . . .	52
2.4.1	Herausforderungen in der Praxis . . . . .	52
2.4.2	Chancen durch additive Fertigung . . . . .	53
2.4.2.1	Szenario A - Externe Betriebe . . . . .	59
2.4.2.2	Szenario B - Interne Betriebe . . . . .	59
2.4.3	Fazit zum Handlungsbedarf aus der Praxis . . . . .	60
<b>3</b>	<b>Analyse und Bewertung von Ansätzen im Gestaltungsbereich</b>	<b>61</b>
3.1	Detaillierung des Gestaltungsbereiches . . . . .	61
3.1.1	Technologieauswahl . . . . .	62
3.1.2	Werkzeugauslegung . . . . .	66
3.1.3	Werkzeugherstellung . . . . .	68
3.1.4	Werkzeuganwendung . . . . .	72
3.1.5	Qualitätskontrolle . . . . .	75
3.1.6	Zusammenfassung des Gestaltungsbereichs . . . . .	76
3.2	Methode der Analyse bestehender Ansätze . . . . .	77
3.2.1	Bewertungslogik . . . . .	77
3.2.2	Anforderungssystem . . . . .	78
3.2.2.1	Anforderungen durch Einflussgrößen . . . . .	79
3.2.2.2	Anforderungen durch Zielgrößen . . . . .	83
3.2.2.3	Anforderungen durch technische Lösungen . . . . .	86
3.2.2.4	Zusammenfassung des Anforderungssystems . . . . .	92
3.3	Vorstellung von Ansätzen zur thermischen Auslegung . . . . .	93
3.3.1	Vergleichende Analyse zur Seriennähe von Rapid Tooling-Prozessketten . . . . .	93
3.3.2	Ansatz zur Anwendung von Wärmeflusskanälen . . . . .	95
3.3.3	Prozessketten für das Prototyping und die Pilotproduktion . . . . .	96
3.3.4	Thermische Simulationen und Messungen . . . . .	98

3.3.5	Methode zur Prozessparameterbestimmung . . . . .	100
3.3.6	Methode zur thermischen Analyse . . . . .	102
3.3.7	Lebensdaueranalyse auf Basis thermo-mechanischer Modellierung . . . . .	103
3.3.8	Auslegung und Charakterisierung additiv gefertigter Formeinsätze . . . . .	104
3.3.9	Methode zur merkmalsbasierten Gesamtkostenermittlung . . . . .	106
3.4	Aggregierte Bewertung der Ansätze . . . . .	109
3.5	Handlungsbedarf in der Theorie und Herleitung der Forschungsfragen . . . . .	111
<b>4</b>	<b>Konzeptionierung des Gestaltungsmodells</b>	<b>115</b>
4.1	Systemorientierte Managementlehre . . . . .	115
4.1.1	Systemtheoretische Grundlagen . . . . .	115
4.1.2	Modelltheorie und Modellbildung . . . . .	116
4.2	Strukturierung des Gestaltungsmodells . . . . .	119
4.2.1	Identifikation und Definition des Realsystems . . . . .	120
4.2.2	Zielsetzung, Nutzende und Nutzungszeitraum des Modells . . . . .	123
4.2.3	Herleitung der Modellanforderungen . . . . .	124
4.2.3.1	Formale Anforderungen . . . . .	124
4.2.3.2	Inhaltliche Anforderungen . . . . .	127
4.3	Konzeption des Gestaltungsmodells . . . . .	128
4.3.1	Herleitung der Strukturelemente . . . . .	131
4.3.1.1	Hohlraumgeometrie . . . . .	132
4.3.1.2	Prozessbedingungen . . . . .	133
4.3.1.3	Temperiersystem . . . . .	134
4.3.2	Herleitung der Verhaltenselemente . . . . .	134
4.3.2.1	Werkzeugmaterialeigenschaften . . . . .	136
4.3.2.2	Prozesssteuerung . . . . .	136
4.3.2.3	Werkzeuggestaltung . . . . .	137
4.3.3	Herleitung der Aktivitätselemente . . . . .	137
4.3.3.1	Segmentierung des Formeinsatzes . . . . .	138
4.3.3.2	Identifizierung der Prozesslasten . . . . .	139
4.3.3.3	Konkretisierung der Temperieranforderungen . . . . .	139
4.4	Synthese des Modellkonzeptes . . . . .	140
4.5	Zwischenfazit zum Konzept des Gestaltungsmodells . . . . .	141
<b>5</b>	<b>Detaillierung des Gestaltungsmodells</b>	<b>145</b>
5.1	Strukturelemente . . . . .	145
5.1.1	Hohlraumgeometrie . . . . .	145
5.1.1.1	Produktrandbedingungen . . . . .	146
5.1.1.2	Segmentcharakterisierung . . . . .	151
5.1.1.3	Zusammenfassung des Strukturelementes Hohlraumgeometrie . . . . .	154
5.1.2	Prozessbedingungen . . . . .	154
5.1.2.1	Ordnung von Prozesseinflüssen . . . . .	155
5.1.2.2	Spezifikation von Prozesseinstellungen . . . . .	159

5.1.2.3	Zusammenfassung des Strukturelementes Prozessbedingungen	161
5.1.3	Temperiersystem	162
5.1.3.1	Morphologie der Temperiersysteme	162
5.1.3.2	Auslegungshinweise Temperiersysteme	167
5.1.3.3	Zusammenfassung des Strukturelementes Temperiersystem	167
5.2	Verhaltenselemente	168
5.2.1	Strukturierung der Verhaltenselemente	168
5.2.1.1	Versuchsgeometrie	169
5.2.1.2	Werkstoffe der Werkzeuge	175
5.2.1.3	Prozessressourcen	176
5.2.1.4	Statistische Auswertungsmethoden	177
5.2.1.5	Vorgehensweise der Modellbildung	178
5.2.1.6	Beispiel für die Modellbildung	179
5.2.2	Werkzeugmaterialeigenschaften	185
5.2.2.1	Versuchsaufbau zur Datenerhebung	186
5.2.2.2	Analyse des Materialeinflusses	189
5.2.2.3	Zusammenfassung des Verhaltenselementes Werkzeugmaterial- eigenschaften	193
5.2.3	Prozesssteuerung	193
5.2.3.1	Versuchsaufbau zur Datenerhebung	194
5.2.3.2	Analyse des Parametereinflusses	196
5.2.3.3	Zusammenfassung des Verhaltenselementes Prozesssteuerung	203
5.2.4	Werkzeuggestaltung	204
5.2.4.1	Versuchsaufbau zur Datenerhebung	205
5.2.4.2	Einfluss der Werkzeuggestalt	205
5.2.4.3	Zusammenfassung des Verhaltenselementes Werkzeuggestaltung	212
5.3	Aktivitätselemente	213
5.3.1	Segmentierung des Formeinsatzes	213
5.3.1.1	Globale Segmentierung	215
5.3.1.2	Lokale Segmentierung	217
5.3.1.3	Segmentgruppierung	217
5.3.1.4	Zusammenfassung der Segmentierung	218
5.3.2	Identifizierung der Prozesslasten	219
5.3.2.1	Identifizierung mechanischer Belastungen	220
5.3.2.2	Identifizierung thermischer Belastungen	222
5.3.2.3	Zusammenfassung der Prozesslastenidentifizierung	223
5.3.3	Konkretisierung der Anforderungen	224
5.3.3.1	Anwendungsspezifische Anforderungsentwicklung	225
5.3.3.2	Interdisziplinäres Anforderungsmanagement	227
5.3.3.3	Zusammenfassung der Anforderungskonkretisierung	228
5.4	Wechselwirkungen der Gestaltungselemente	228

<b>6</b>	<b>Fallbeispiele für Temperiersysteme und Validierung des Gestaltungsmodells</b>	<b>231</b>
6.1	Einleitung zu möglichen Temperiersystemen	231
6.2	Temperierung im Wirkbereich Formeinsatz	231
6.2.1	Konzept der wärmeleitenden Einsätze	232
6.2.2	Konzept der Materialgradienten	234
6.2.2.1	Versuchsaufbau für Materialgradienten	234
6.2.2.2	Analyse zur Temperierung durch Materialgradienten	236
6.2.2.3	Zwischenfazit zu Materialgradienten	237
6.3	Temperierung im Wirkbereich Produktionsanlage	239
6.3.1	Konzept der konvektiven Temperierung	239
6.3.2	Versuchsaufbau zur konvektiven Temperierung	239
6.3.3	Analyse der konvektiven Temperierung	241
6.3.4	Zwischenfazit zur konvektiven Temperierung	246
6.4	Anwendungsbeispiel: TDK Electronics AG	246
6.4.1	Ausgangssituation	246
6.4.2	Anwendung	247
6.4.2.1	Produktbereich	248
6.4.2.2	Prozessbereich	251
6.4.2.3	Temperiersystembereich	252
6.4.3	Fazit zum Anwendungsbeispiel	253
<b>7</b>	<b>Fazit</b>	<b>255</b>
7.1	Zusammenfassung	255
7.2	Ausblick	258
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>259</b>
	<b>Anhang</b>	<b>277</b>