

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VI
TABELLENVERZEICHNIS	X
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XII
1 Einleitung	1
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
2 Grundlagen des Betrachtungsbereiches	13
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
3	Analyse und Bewertung von Ansätzen im Gestaltungsbereich	61
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 merkmalbasierten Gesamtkostenermittlung	106
3.4	Aggregierte Bewertung der Ansätze	109
3.5	Handlungsbedarf in der Theorie und Herleitung der Forschungsfragen	111
4 Konzeptionierung des Gestaltungsmodells		115
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
5 Detaillierung des Gestaltungsmodells		145
5.1	Strukturelemente	145
5.1.1	Hohlraumgeometrie	145
5.1.1.1	Produktstrandbedingungen	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

6 Fallbeispiele für Temperiersysteme und Validierung des Gestaltungsmodells	231
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
7 Fazit	255
7.1 Zusammenfassung	255
7.2 Ausblick	258
LITERATURVERZEICHNIS	259
Anhang	277