

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>V</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>VII</b>
<b>Die Autoren</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung für das Buch .....	2
1.2 Einordnung der additiven Fertigungsverfahren .....	4
1.3 Marktsituation .....	6
1.4 Anwendungsgebiete .....	8
1.5 Potenziale der Additiven Fertigung .....	15
1.5.1 Komplexe Geometrien .....	17
1.5.2 Leichtbau .....	18
1.5.3 Funktionsintegration .....	19
1.5.4 Ressourcenschonung .....	21
1.5.5 Losgrößen .....	22
1.5.6 Materialvielfalt .....	23
1.5.7 Individualisierung und Personalisierung .....	24
1.6 Schlussfolgerung .....	27
1.7 Historie der Produktgestaltung .....	28
1.8 Herausforderungen für Konstrukteure .....	31
1.8.1 Leichtbau & Ressourceneffizienz .....	32
1.8.2 Funktionsintegration .....	33
1.8.3 Reduktion des Montageaufwandes .....	34
1.8.4 Leistungssteigerung .....	34
1.9 Anwendungsbeispiele .....	35
1.9.1 Luft- und Raumfahrt .....	36
1.9.1.1 Airbus – Armlehne .....	37

1.9.1.2	Premium AEROTEC – Vent Bend .....	38
1.9.1.3	General Electric – Einspritzdüse .....	39
1.9.2	Automotiv .....	40
1.9.2.1	BMW i8 – Verdeckhalterung .....	40
1.9.2.2	Ford – Ansaugstutzen .....	40
1.9.2.3	APWORKS – Light Rider .....	41
1.9.3	Werkzeugbau .....	42
1.10	Ausblick Produktgestaltung .....	43
<b>2</b>	<b>Additive Fertigung .....</b>	<b>45</b>
2.1	Historie der Additiven Fertigung .....	48
2.2	Übersicht der additiven Fertigungsverfahren .....	52
2.2.1	Polymerisation .....	53
2.2.1.1	Stereolithographie .....	55
2.2.1.2	Polymerdruckverfahren und Thermojet-Drucken (Polymer Jetting) .....	55
2.2.1.3	HP Multi Jet Fusion .....	57
2.2.2	Lasersintern und Laserschmelzen .....	58
2.2.2.1	Lasersintern/Selektives Lasersintern (LS – SLS) .....	58
2.2.2.2	Laserschmelzen/Selektives Laserschmelzen (SLM) .....	61
2.2.2.3	Elektronenstrahl-Schmelzen .....	62
2.2.3	Layer Laminated Manufacturing .....	63
2.2.3.1	Laminated Object Manufacturing .....	63
2.2.3.2	Selective Deposition Lamination (SDL) .....	65
2.2.3.3	LLM Maschinen für Metallteile .....	66
2.2.3.4	Bauteile aus Metalllamellen – Laminated Metal Prototyping .....	66
2.2.4	3D-Drucken .....	66
2.2.4.1	Metal- und Formsand-Printer – ExOne .....	69
2.2.5	Extrusion/Fused Layer Manufacturing .....	70
2.2.5.1	Fused Deposition Modeling (FDM) .....	71
2.3	Materialvielfalt .....	73
2.3.1	Werkstoffe für die Stereolithographie .....	74
2.3.2	Werkstoffe für das Polyjetverfahren .....	74
2.3.3	Werkstoffe für das Pulver-Binderverfahren .....	75
2.3.4	Werkstoffe für das Lasersintern .....	75
2.3.5	Werkstoffe für das FLM-Verfahren .....	76
2.4	Gestaltungsgrundlagen .....	77
2.4.1	Normung und Standardisierung .....	78
2.4.2	Prozesseinfluss auf die Konstruktion .....	80

<b>3</b>	<b>Lasert Powder Bed Fusion</b>	<b>85</b>
3.1	Prozessgrundlagen	85
3.1.1	Prozessablauf	88
3.1.2	Prozessparameter	89
3.1.3	Herausforderungen und Prozessgrenzen	96
3.1.4	Post-Processing	100
3.1.5	Prozessgrenzen	101
3.2	Materialien	108
3.2.1	Pulverwerkstoffe	108
3.2.1.1	Stähle	108
3.2.1.2	Aluminium	109
3.2.1.3	Titan	110
3.2.1.4	Nickelbasislegierungen	111
3.2.2	Pulverherstellung	111
3.2.3	Werkstoffqualifizierung	113
3.2.4	Werkstoffprüfung	114
3.2.5	Werkstoffkennwerte	116
3.2.6	Werkstoffkosten	117
3.3	Anlagenüberblick	119
3.3.1	Universalanlagen	122
3.3.2	Kleine Anlagen	124
3.3.3	Große Anlagen	127
3.3.4	Low-Cost-Anlagen	130
3.3.5	Integrierte Fertigungssysteme	131
<b>4</b>	<b>Bauteilgestaltung für den L-PBF-Prozess</b>	<b>137</b>
4.1	Grundlegende Konstruktionshinweise	137
4.1.1	Systematische Unterschiede in Konstruktion	139
4.1.2	Modelltypen und Datenformat	141
4.1.2.1	STL-Datenformat	143
4.1.2.2	AMF-Datenformat	148
4.2	Oberflächenstrukturen	150
4.2.1	Oberflächen	150
4.2.2	Standardoberfläche	152
4.2.3	Erzeugungsmethoden	154
4.2.3.1	Konstruktion mittels Vorlage (Einheitszelle)	154
4.2.3.2	Konstruktion mittels Visual Basic for Application (VBA)	158
4.2.4	Anwendungsbeispiele	161
4.3	Gitterstrukturen	163
4.3.1	Einteilung von Gitterstrukturen	166
4.3.2	Randbedingungen	168

4.3.3	Vorgehensweisen und Anwendungsbeispiele	170
4.3.3.1	Anwendungsbeispiele	170
4.3.3.2	Systematik für den Einsatz von Gitterstrukturen	175
4.3.4	Zusammenfassung	197
4.4	Topologieoptimierung	198
4.4.1	Randbedingungen	199
4.4.2	Auslegung	200
4.4.3	Vorgehensweise und Anwendungsbeispiele	200
4.4.4	Topologieoptimierung mit Startgeometrie	202
4.4.5	Topologieoptimierung mittels „Generative Design“	205
4.5	Funktionsintegration	207
4.5.1	Anwendungsbeispiele Kühlung	208
4.5.1.1	Auslegung von Kühlkanälen	211
4.5.1.2	Konstruktion einer Flächenkühlung	214
4.5.1.3	Konstruktion einer Parallelkühlung	216
4.5.2	Bewegliche Baugruppen	218
4.5.3	Anwendungsbeispiele bewegliche Baugruppen	219
4.5.4	Monolithische Bauweisen	221
4.6	Stützstrukturen und Orientierung im Bauraum	224
4.6.1	Einteilung	224
4.6.2	Randbedingungen	228
4.6.3	Auslegung	229
4.6.4	Vorgehensweisen und Anwendungsbeispiele	232
<b>5</b>	<b>Nachbearbeitung</b>	<b>239</b>
5.1	Wärmebehandlung	241
5.2	Grobbearbeitung	242
5.2.1	Trennung der Bauteile von der Plattform	242
5.2.2	Entfernung von Supportstrukturen	243
5.2.3	Spanende Nachbearbeitung	245
5.3	Feinbearbeitung	247
5.3.1	Nachbearbeitung von Supportoberflächen	248
5.3.2	Strahlen	250
5.3.3	Gleitschleifen	251
5.3.4	Polieren	253
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerung und Ausblick</b>	<b>255</b>
6.1	Schlussfolgerung	255
6.2	Ausblick	256
<b>Index</b>		<b>263</b>