

Inhalt

Vorwort	V
Danksagung	VII
Die Autoren	IX
1 Einleitung	1
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
2	Additive Fertigung	45
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	Metall- 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

3	Laser Powder Bed Fusion	85
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
4	Bauteilgestaltung für den L-PBF-Prozess	137
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
5	Nachbearbeitung	239
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
6	Schlussfolgerung und Ausblick	255
6.1	Schlussfolgerung	255
6.2	Ausblick	256
Index	263