

INHALT

1 EINLEITUNG	1
1.1 Zielsetzung für das Buch	2
1.2 Industrielle Produktion im Wandel	4
1.3 Umgang mit neu aufkommenden Technologien	9
1.4 Begriffe der generativen Fertigungsverfahren	11
1.5 Einordnung der generativen Verfahren	13
1.6 Einsatzgebiete für generative Fertigung	14
1.7 Anforderungen an Designer, Konstrukteure und Fertigungsexperten	17
1.8 Ausblick	20
1.9 Quellenverzeichnis	22
2 TECHNOLOGIE	23
2.1 Historie	23
2.2 Verfahrensvielfalt	25
2.2.1 Stereolithography [SL]	27
2.2.2 3D-Printing [3DP]	28
2.2.3 Selektives Lasersintern [SLS]	30
2.2.4 Selektive Laser Melting [SLM]	31
2.2.5 Fused Deposition Modeling [FDM]	32
2.2.6 Poly-Jet Modeling [PJM]	34
2.2.7 Laminated Object Manufacturing [LOM]	36
2.2.8 Mask Sintering [MS]	37
2.2.9 Digital Light Processing [DLP]	38
2.3 Selektives Lasersintern als Herstellungstechnologie von Produkten	39

2.4 Entwicklungsprozess	41
2.4.1 Generative Modelle in der Produktentwicklung	44
2.5 Fertigungsprozess	47
2.5.1 Aufschmelzen des Kunststoffpulvers mit dem Laserstrahl	47
2.5.2 Belichtungsstrategie	49
2.5.3 Strahldurchmesser	50
2.5.4 Spurbreitenkompensation	51
2.5.5 Einbringung von zu viel Energie durch doppelte Belichtung oder falsche Parameter	52
2.5.6 Abkühlen nach dem Bauprozess	53
2.5.7 Verzug von Werkstücken	54
2.5.8 Treppenstruktur	55
2.5.9 Dicke der gebauten Schichten	56
2.5.10 Datensätze und Datenformate	56
2.5.11 Maschinen und Ausrüstung	57
2.6 Material	59
2.6.1 Rohmaterial	59
2.6.2 Mischen und Auffrischen des Pulvers	63
2.6.3 Eigenschaften von lasergesinterten Bauteilen	64
2.7 Nachbehandlung der Oberfläche	69
2.7.1 Oberflächentechnik für das selektive Lasersintern	70
2.7.2 Senken der Rauheit durch Strahlen	75
2.7.3 Optisches Erscheinungsbild	82
2.7.4 Thermischer Schutz	85
2.7.5 Leicht zu reinigende Schichten	86
2.7.6 Verbesserung der mechanischen Stabilität generativ gefertigten Werkstücken	90
2.7.7 Lackieren von generativ gefertigten Bauteilen	91
2.7.8 Kleben von generativ gefertigten Bauteilen	91
2.7.9 Zerspanende Nachbearbeitung der Oberflächen	92
2.8 Qualitätssicherung generativer Produkte	94
2.8.1 Materialwissenschaftliche Erkenntnisse	94
2.8.2 Funktionsvalidierung und Lebensdauerprüfung	96
2.8.3 Voraussetzungen für die Serienproduktion	105
2.8.4 Zertifizierungen	107
2.9 Quellenverzeichnis	112

3.1	Produktentwicklung für generativ hergestellte Produkte	115
3.1.1	Der Prototyp als Serienprodukt	115
3.1.2	Produktentwicklungsprozess	116
3.2	Rahmenbedingungen	121
3.2.1	Pulverentfernung	121
3.2.2	Genauigkeit	123
3.2.3	Wandstärken	124
3.2.4	Abstände zwischen Bauteilwandungen	127
3.3	Bauteiloptimierung	128
3.3.1	Parameteroptimierung	129
3.3.2	Topologieoptimierung	130
3.3.3	Formoptimierung	132
3.3.4	Leichtbau	133
3.4	Statische Elemente	135
3.4.1	Kanten und Ecken	135
3.4.2	Verrundungen	137
3.4.3	Flächen	139
3.4.4	Volumen und Körper	140
3.4.5	Bohrungen	141
3.4.6	Kanäle	143
3.4.7	Strukturen	143
3.5	Funktionselemente	150
3.5.1	Gelenke	150
3.5.2	Elastische Elemente	152
3.5.3	Verbindungselemente	155
3.5.4	Führung linearer Bewegungen	163
3.5.5	Führung rotatorischer Bewegungen	166
3.5.6	Dichtheit bei Flachdichtungen und O-Ringen	169
3.5.7	Zugentlastung für Schlauch- und Kabelführungen	170
3.5.8	Aktoren	175
3.6	Komplexität	182
3.7	Individualisierung	184
3.8	Simulation	187
3.9	Automatisierte Konfiguration	189
3.9.1	Automatische Konfiguration eines Robotergreifers	189
3.9.2	Konstruktionen basierend auf Konstruktionstabellen	191
3.9.3	Greiferkonzeption	192
3.9.4	Schnittstellen	193
3.9.5	Entwerfen eines parametrischen Testobjekts	194
3.9.6	Gestaltungsrichtlinien für parametrische Modelle	194
3.9.7	Aufbauen des Greifers	196

3.9.8	Erstellen der Konstruktionstabelle	198
3.9.9	Probleme bei parametrischen Konstruktionen	198
3.10	Bionik	199
3.10.1	Leistungsfähigkeit biologischer Systeme	199
3.10.2	Bionisches Arbeiten	200
3.11	Wirtschaftlichkeit	202
3.11.1	Wirtschaftlich sinnvolle Teile durch generative Fertigung	202
3.11.2	Nutzung der vollen konstruktiven Bandbreite generativer Verfahren	205
3.11.3	Klein, komplex, individuell	206
3.12	Quellenverzeichnis	208
4	ANWENDUNGSBEISPIELE	211
4.1	Robotergreifer für Verpackungsanwendung	211
4.1.1	Mehrfachgreifer mit Hubeinheiten	212
4.1.2	Greifer mit Spreizfunktion	215
4.2	Robotergeführtes Auslenksystem für das Entgraten	227
4.3	Laufroboter	230
4.3.1	Vorbild Spinne	231
4.3.2	Lokomotion und Laufmuster	233
4.3.3	Modulare Konstruktion	242
4.4	Medizintechnikanwendungen	245
4.5	Ausblick	248
4.6	Quellenverzeichnis	250