

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	7	3.3.6	Desktop-3D-Printer	80
1.1	Additive und subtraktive Fertigung	8	3.4	3D-Druck von Elektronikkomponenten	82
1.2	Systematik der additiven Fertigungsverfahren	10	4	Prozessarten	86
1.2.1	Gasförmiger Ausgangszustand	11	4.1	3D-Druck	86
1.2.2	Flüssiger Ausgangszustand	13	4.1.1	Allgemeines	86
1.2.3	Fester Ausgangszustand	14	4.1.2	Pulververarbeitende Systeme	87
1.2.3.1	Drahtförmige Materialien	15	4.1.2.1	Systemkomponenten	88
1.2.3.2	Lamine	15	4.1.2.2	Postprocessing	89
1.2.3.3	Pulver	15	4.1.2.3	Pulveraufbereiten	90
1.2.4	Standards	18	4.1.2.4	Infiltrieren	91
1.3	Stützstrukturen	20	4.1.2.5	Prozesse	92
1.3.1	Schichtbauprinzipien	21	4.1.2.6	Besondere Verfahren	94
1.3.2	Stützstrukturgestaltung	22	4.1.3	Direkter Materialauftrag	96
1.4	Postprozess	25	4.1.3.1	Allgemeines	96
1.4.1	Manuelles Postprocessing	25	4.1.3.2	Anlagen	97
1.4.2	Automatisiertes Postprocessing für Serienteile	26	4.1.3.3	Materialien und Verfahren	97
1.4.2.1	Entpulvern durch Strahlen	26	4.1.3.4	Stützstrukturen	98
1.4.2.2	Entpulvern durch Drehen, Schwenken und Vibrieren	27	4.1.3.5	Anforderungen an die Druckköpfe	99
1.4.2.3	Fluidbasierte Entpulverungsverfahren	27	4.1.3.6	Schichterzeugung	100
1.4.3	Bauteilveredelung	28	4.1.3.7	Postprocessing	102
1.4.4	Gefahren im Postprozess	29	4.1.3.8	Multi-Jet Modeling (MJM)	102
			4.1.3.9	3D-Wax-Printing	103
			4.1.3.10	Poly-Jet-Modeling (PJM)	105
			4.1.3.11	Highspeed Sintering	105
2	Prozessketten	31	4.2	Selektives Lasersintern (LS)	106
2.1	Rapid Product Development (RPD)	31	4.2.1	Funktionsprinzip	106
2.2	Modellarten	33	4.2.2	LS-Prozess	107
2.3	Rapid Prototyping (RP)	35	4.2.2.1	Teilevorbereitung	108
2.4	Rapid Tooling (RT)	38	4.2.2.2	Anfertigung	109
2.4.1	Direkte Herstellung von Formen und Werkzeugen	38	4.2.2.3	Nachbearbeitung	110
2.4.2	Indirekte Herstellung von Formen und Werkzeugen	40	4.2.3	Laser	110
2.5	Rapid Manufacturing (RM)	43	4.2.4	LS-Baumaterialien	111
			4.2.5	Erzielbare Genauigkeit	112
			4.2.6	Maschinen-Realisierungen	112
			4.2.7	Anwendungsbereiche	113
3	Potenziale Additiver Fertigung (AM)	47	4.3	Selektives Maskensintern (SMS)	114
3.1	Der Entwicklungsgang	47	4.3.1	Allgemeines	114
3.2	Materialien	48	4.3.2	Verfahren mit direkter Belichtung	115
3.2.1	Kunststoffe	50	4.3.3	Verfahren mit Abbildeoptik	116
3.2.1.1	Photopolymerisation	54	4.4	Additive Verarbeitung von Metallen	118
3.2.1.2	Laser-Sintern (LS)	56	4.4.1	Pulverstrahlbasierte Verfahren	119
3.2.1.3	Extrudieren	57	4.4.2	Drahtbasierte Verfahren	119
3.2.1.4	Pulverdruck-Polymerisation (3DP)	58	4.4.3	Pulverbettbasierte Verfahren	119
3.2.2	Metalle	58	4.4.3.1	Funktionsprinzip	121
3.2.3	Minerale und Keramik	61	4.4.3.2	Der Strahlschmelzprozess	121
3.3	Anwendungsgebiete	64	4.4.3.3	Teilevorbereitung	122
3.3.1	Integralbauteile	66	4.4.3.4	Anfertigung	122
3.3.2	Mode-Design	68	4.4.3.5	Strahlquellen	122
3.3.3	Zerstörungsfreie Archäologie	69	4.4.4	Baumaterialien	123
3.3.4	Architektur	71	4.4.5	Erzielbare Genauigkeit	123
3.3.5	Bio-Manufacturing	72	4.4.6	Maschinen-Realisierungen	123
3.3.5.1	Dentaltechnik	72	4.5	Layer Laminated Manufacturing (LLM)	125
3.3.5.2	Prothetik und Herstellung von chirurgischen Modellen	74	4.5.1	Traditionelle Schichtbauweisen	125
3.3.5.3	Hörakustik	76	4.5.2	Automatisierung	126
3.3.5.4	Tissue Engineering	77	4.5.3	Materialien	127
			4.5.4	LLM-Verfahren	128
			4.5.4.1	Laminated Object Modeling (LOM)	128
			4.5.4.2	Paper Laminated Technology (PLT)	130

4.5.4.3	Mcor-Verfahren.	131	5.5.1	Allgemeines.	176
4.5.4.4	PVC Laminated Technology.	133	5.5.2	Druckverfahren.	177
4.5.4.5	Layer Milling Process (LMP).	134	5.5.3	Auflösung, Genauigkeit und Frequenz ...	181
4.5.4.6	Automatisierung mit Roboter.	135	5.5.4	Aufbau des Drucksystems.	183
4.5.4.7	Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM)	136	5.5.5	Sonderformen.	184
4.6	Fused Layer Modeling (FLM)	137	5.6	Laserbasierte AM-Systeme	185
4.6.1	Funktionsprinzip.	137	5.7	Thermische Düsensysteme	187
4.6.2	FLM-Prozess.	138	5.7.1	Extrusionsköpfe für drahtförmige Werkstoffe.	187
4.6.2.1	Teilevorbereitung.	138	5.7.2	Extrusionsköpfe für thermisch plastifizierte Werkstoffe.	188
4.6.2.2	Anfertigung.	140	5.7.3	Extrusionsköpfe für thermisch geschmolzene Metalle.	188
4.6.2.3	Nachbearbeitung.	140	5.8	Hybridsysteme	189
4.6.3	Extrusionsköpfe.	140			
4.6.4	Baumaterialien.	140	6	3D-Datenfluss	190
4.6.5	Erzielbare Genauigkeit.	142	6.1	CAD-Datenmodell	190
4.6.6	Maschinen-Realisierungen.	142	6.1.1	CAD-Flächenmodell.	190
4.6.7	Anwendungsbereiche und Folgeprozesse.	143	6.1.2	Volumenmodelle.	192
4.7	Stereolithographie (STL)	144	6.2	Voxelmodell	192
4.7.1	Funktionsprinzip.	144	6.3	Schnittstellenformate	193
4.7.2	Stereolithographie-Prozess.	144	6.3.1	STL-Format.	193
4.7.2.1	Teilevorbereitung.	145	6.3.2	SLC-Format.	194
4.7.2.2	Anfertigung.	146	6.3.3	VRML-Format.	195
4.7.2.3	Nachbearbeitung.	147	6.3.4	Additive Manufacturing File Format (AMF).	196
4.7.3	Laser.	147	6.3.5	Weitere Datenformate.	198
4.7.4	Baumaterialien.	148			
4.7.5	Erzielbare Genauigkeit.	149	7	3D-Scannen	200
4.7.6	Maschinen-Realisierungen.	149	7.1	Anwendungen	200
4.7.7	Anwendungsbereiche und Folgeprozesse.	150	7.2	Triangulationstechnologie	201
4.8	Flächige UV-Belichtungs-verfahren	152	7.2.1	Räumliche Wahrnehmung und Triangulation.	201
4.8.1	Allgemeines.	152	7.2.2	Scannen mit Punkten und mit Linien.	202
4.8.2	Belichtungstechnologie.	154	7.2.3	Streifenlichtscanner.	203
4.8.2.1	Selektiv-flächige Belichtung.	155	7.2.3.1	Scannen mit Einzellichtpunkt.	203
4.8.2.2	Belichtung mit DLP.	155	7.2.3.2	Linienprojektionsverfahren.	204
4.8.2.3	Belichtung mit Microshutter.	156	7.2.3.3	Besonderheiten und Beispiele.	206
4.8.3	Bauprozesse.	157	7.2.4	Photogrammetrie.	210
4.8.3.1	Solid Ground Curing.	157	7.3	Autofokus-Systeme	212
4.8.3.2	Stationäre Belichtung von oben.	157	7.4	Lichtlaufzeitsysteme	213
4.8.3.3	Stationäre Belichtung von unten.	158	7.5	Theodolit-Messsysteme	213
4.8.3.4	Bewegte Belichtung.	159	7.6	Röntgen-Computer-tomographie (CT)	214
			7.6.1	Allgemeines.	214
5	Aufbau der AM-Anlagen	160	7.6.2	Funktionsweise und Technik.	215
5.1	Allgemeines zur Konstruktion	160	7.6.2.1	CT in der industriellen Messtechnik.	215
5.1.1	Z-Achse.	162	7.6.2.2	Auflösung.	216
5.1.1.1	Z-Achse in konventionellen Systemen.	162			
5.1.1.2	Kastenloses Bauen.	164	8	Virtuelle Umgebung	218
5.1.1.3	Continuous 3D-Printing.	165	8.1	Allgemeines	218
5.1.1.4	Parallelkinematik.	166	8.2	Szenensteuerung	219
5.1.1.5	Portalanlagen – Contour Crafting.	167	8.3	Tracking	220
5.1.1.6	5-Achssysteme.	167	8.4	Augmented Reality, Mixed Reality	221
5.1.2	Prozesskammer.	168			
5.1.3	Maschinengestelle.	168	Sachwortverzeichnis.		222
5.2	Aufbau pulververarbeitender Systeme	169	Quellenverzeichnis.		224
5.2.1	Beschichtungssysteme.	169			
5.2.2	Pulverzuführung.	170			
5.2.3	Materialbevorratung.	171			
5.2.4	Formbehälter.	171			
5.3	Aufbau flüssigkeitsverarbeitender Systeme .	172			
5.4	Aufbau laminierender Systeme	174			
5.4.1	Materialversorgung.	174			
5.4.2	Konturschneiden.	174			
5.4.3	Schichtverbinden.	175			
5.5	Druckkopfsysteme	176			