

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	7	4	Prozessarten	82
1.1	Additive und subtraktive Fertigung	8	4.1	3D-Druck	82
1.2	Systematik der additiven Fertigungsverfahren	10	4.1.1	Allgemeines	82
1.2.1	Gasförmiger Ausgangszustand	11	4.1.2	Pulververarbeitende Systeme	83
1.2.2	Flüssiger Ausgangszustand	13	4.1.2.1	Systemkomponenten	84
1.2.3	Fester Ausgangszustand	14	4.1.2.2	Postprocessing	85
1.2.3.1	Drahtförmige Materialien	15	4.1.2.3	Pulveraufbereiten	86
1.2.3.2	Lamine	15	4.1.2.4	Infiltrieren	87
1.2.3.3	Pulver	15	4.1.2.5	Prozesse	88
1.2.4	Standards	18	4.1.2.6	Besondere Verfahren	90
1.3	Stützstrukturen	20	4.1.3	Direkter Materialauftrag	92
1.3.1	Schichtbauprinzipien	21	4.1.3.1	Allgemeines	92
1.3.2	Stützstrukturgestaltung	22	4.1.3.2	Anlagen	93
1.4	Postprozess	25	4.1.3.3	Materialien und Verfahren	93
1.4.1	Auspacken und Reinigen	25	4.1.3.4	Stützstrukturen	94
1.4.2	Abtrennen der Teile von der Bauplattform	25	4.1.3.5	Anforderungen an die Druckköpfe	95
1.4.3	Bauteilveredelung	26	4.1.3.6	Schichterzeugung	96
1.4.4	Gefahren im Postprozess	27	4.1.3.7	Postprocessing	98
			4.1.3.8	Multi-Jet Modeling (MJM)	98
			4.1.3.9	3D-Wax-Printing	99
			4.1.3.10	Poly-Jet-Modeling (PJM)	101
			4.1.3.11	Highspeed Sintering	101
2	Prozessketten	29	4.2	Selektives Lasersintern (LS)	102
2.1	Rapid Product Development (RPD)	29	4.2.1	Funktionsprinzip	102
2.2	Modellarten	31	4.2.2	LS-Prozess	103
2.3	Rapid Prototyping (RP)	33	4.2.2.1	Teilevorbereitung	104
2.4	Rapid Tooling (RT)	36	4.2.2.2	Anfertigung	105
2.4.1	Direkte Herstellung von Formen und Werkzeugen	36	4.2.2.3	Nachbearbeitung	106
2.4.2	Indirekte Herstellung von Formen und Werkzeugen	38	4.2.3	Laser	106
2.5	Rapid Manufacturing (RM)	41	4.2.4	LS-Baumaterialien	107
			4.2.5	Erzielbare Genauigkeit	108
			4.2.6	Maschinen-Realisierungen	108
			4.2.7	Anwendungsbereiche	109
			4.3	Selektives Maskensintern (SMS)	110
3	Potenziale Additiver Fertigung (AM)	43	4.3.1	Allgemeines	110
3.1	Der Entwicklungsgang	43	4.3.2	Verfahren mit direkter Belichtung	111
3.2	Materialien	44	4.3.3	Verfahren mit Abbildeoptik	112
3.2.1	Kunststoffe	46	4.4	Additive Verarbeitung von Metallen	114
3.2.1.1	Photopolymerisation	50	4.4.1	Pulverstrahlbasierte Verfahren	115
3.2.1.2	Laser-Sintern (LS)	52	4.4.2	Drahtbasierte Verfahren	115
3.2.1.3	Extrudieren	53	4.4.3	Pulverbettbasierte Verfahren	115
3.2.1.4	Pulverdruck-Polymerisation (3DP)	54	4.4.3.1	Funktionsprinzip	117
3.2.2	Metalle	54	4.4.3.2	Der Strahlschmelzprozess	117
3.2.3	Minerale und Keramik	57	4.4.3.3	Teilevorbereitung	118
3.3	Anwendungsgebiete	60	4.4.3.4	Anfertigung	118
3.3.1	Integralbauteile	62	4.4.3.5	Strahlquellen	118
3.3.2	Mode-Design	64	4.4.4	Baumaterialien	119
3.3.3	Zerstörungsfreie Archäologie	65	4.4.5	Erzielbare Genauigkeit	119
3.3.4	Architektur	67	4.4.6	Maschinen-Realisierungen	119
3.3.5	Bio-Manufacturing	68	4.5	Layer Laminated Manufacturing (LLM)	121
3.3.5.1	Dentaltechnik	68	4.5.1	Traditionelle Schichtbauweisen	121
3.3.5.2	Prothetik und Herstellung von chirurgischen Modellen	70	4.5.2	Automatisierung	122
3.3.5.3	Hörakustik	72	4.5.3	Materialien	123
3.3.5.4	Tissue Engineering	73	4.5.4	LLM-Verfahren	124
3.3.6	Desktop-3D-Printer	76	4.5.4.1	Laminated Object Modeling (LOM)	124
3.4	3D-Druck von Elektronikkomponenten	78	4.5.4.2	Paper Laminated Technology (PLT)	126
			4.5.4.3	Mcor-Verfahren	127
			4.5.4.4	PVC Laminated Technology	129
			4.5.4.5	Layer Milling Process (LMP)	130

4.5.4.6	Automatisierung mit Roboter.	131	5.5.3	Auflösung, Genauigkeit und Frequenz . . .	177
4.5.4.7	Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM)	132	5.5.4	Aufbau des Drucksystems.	179
4.6	Fused Layer Modeling (FLM)	133	5.5.5	Sonderformen	180
4.6.1	Funktionsprinzip.	133	5.6	Laserbasierte AM-Systeme	181
4.6.2	FLM-Prozess	134	5.7	Thermische Düsensysteme.	183
4.6.2.1	Teilevorbereitung.	134	5.7.1	Extrusionsköpfe für drahtförmige Werkstoffe.	183
4.6.2.2	Anfertigung	136	5.7.2	Extrusionsköpfe für thermisch plastifizierte Werkstoffe	184
4.6.2.3	Nachbearbeitung	136	5.7.3	Extrusionsköpfe für thermisch geschmolzene Metalle.	184
4.6.3	Extrusionsköpfe	136	5.8	Hybridsysteme	185
4.6.4	Baumaterialien.	136	6	3D-Datenfluss	186
4.6.5	Erzielbare Genauigkeit	138	6.1	CAD-Datenmodell	186
4.6.6	Maschinen-Realisierungen	138	6.1.1	CAD-Flächenmodell	186
4.6.7	Anwendungsbereiche und Folgeprozesse.	139	6.1.2	Volumenmodelle	188
4.7	Stereolithographie (STL)	140	6.2	Voxelmodell	188
4.7.1	Funktionsprinzip.	140	6.3	Schnittstellenformate	189
4.7.2	Stereolithographie-Prozess.	140	6.3.1	STL-Format	189
4.7.2.1	Teilevorbereitung.	141	6.3.2	SLC-Format.	190
4.7.2.2	Anfertigung	142	6.3.3	VRML-Format	191
4.7.2.3	Nachbearbeitung	143	6.3.4	Additive Manufacturing File Format (AMF)	192
4.7.3	Laser	143	6.3.5	Weitere Datenformate	194
4.7.4	Baumaterialien.	144	7	3D-Scannen	196
4.7.5	Erzielbare Genauigkeit	145	7.1	Anwendungen	196
4.7.6	Maschinen-Realisierungen	145	7.2	Triangulationstechnologie.	197
4.7.7	Anwendungsbereiche und Folgeprozesse.	146	7.2.1	Räumliche Wahrnehmung und Triangulation	197
4.8	Flächige UV-Belichtungsverfahren	148	7.2.2	Scannen mit Punkten und mit Linien.	198
4.8.1	Allgemeines	148	7.2.3	Streifenlichtscanner.	199
4.8.2	Belichtungstechnologie.	150	7.2.3.1	Scannen mit Einzellichtpunkt	199
4.8.2.1	Selektiv-flächige Belichtung	151	7.2.3.2	Linienprojektionsverfahren.	200
4.8.2.2	Belichtung mit DLP	151	7.2.3.3	Besonderheiten und Beispiele	202
4.8.2.3	Belichtung mit Microshutter.	152	7.2.4	Photogrammetrie.	206
4.8.3	Bauprozesse.	153	7.3	Autofokus-Systeme	208
4.8.3.1	Solid Ground Curing	153	7.4	Lichtlaufzeitsysteme	209
4.8.3.2	Stationäre Belichtung von oben.	153	7.5	Theodolit-Messsysteme	209
4.8.3.3	Stationäre Belichtung von unten	154	7.6	Röntgen-Computertomographie (CT)	210
4.8.3.4	Bewegte Belichtung.	155	7.6.1	Allgemeines	210
5	Aufbau der AM-Anlagen	156	7.6.2	Funktionsweise und Technik	211
5.1	Allgemeines zur Konstruktion	156	7.6.2.1	CT in der industriellen Messtechnik.	211
5.1.1	Z-Achse	158	7.6.2.2	Auflösung.	212
5.1.1.1	Z-Achse in konventionellen Systemen.	158	8	Virtuelle Umgebung	214
5.1.1.2	Kastenloses Bauen	160	8.1	Allgemeines	214
5.1.1.3	Continuous 3D-Printing	161	8.2	Szenensteuerung	215
5.1.1.4	Parallelkinematik	162	8.3	Tracking.	216
5.1.1.5	Portalanlagen – Contour Crafting.	163	8.4	Augmented Reality, Mixed Reality	217
5.1.1.6	5-Achssysteme	163	Sachwortverzeichnis	218	
5.1.2	Prozesskammer	164	Normen und Richtlinien	222	
5.1.3	Maschinengestelle	164	Publikationen der Autoren	223	
5.2	Aufbau pulververarbeitender Systeme	165	Quellenverzeichnis	224	
5.2.1	Beschichtungssysteme	165			
5.2.2	Pulverzuführung.	166			
5.2.3	Materialbevorratung	167			
5.2.4	Formbehälter	167			
5.3	Aufbau flüssigkeitsverarbeitender Systeme	168			
5.4	Aufbau laminierender Systeme	170			
5.4.1	Materialversorgung	170			
5.4.2	Konturschneiden	170			
5.4.3	Schichtverbinden	171			
5.5	Druckkopfsysteme	172			
5.5.1	Allgemeines	172			
5.5.2	Druckverfahren.	173			