

Inhaltsverzeichnis

| | | | | | |
|------------|---|-----------|------------|--|------------|
| 1 | Einführung | 7 | 4 | Prozessarten | 78 |
| 1.1 | Additive und subtraktive Fertigung | 8 | 4.1 | 3D-Druck | 78 |
| 1.2 | Systematik der additiven Fertigungsverfahren | 10 | 4.1.1 | Allgemeines | 78 |
| 1.2.1 | Gasförmiger Ausgangszustand | 11 | 4.1.2 | Pulververarbeitende Systeme | 79 |
| 1.2.2 | Flüssiger Ausgangszustand | 13 | 4.1.2.1 | Systemkomponenten | 80 |
| 1.2.3 | Fester Ausgangszustand | 14 | 4.1.2.2 | Postprocessing | 81 |
| 1.2.3.1 | Drahtförmige Materialien | 15 | 4.1.2.3 | Pulveraufbereiten | 82 |
| 1.2.3.2 | Lamine | 15 | 4.1.2.4 | Infiltrieren | 83 |
| 1.2.3.3 | Pulver | 15 | 4.1.2.5 | Prozesse | 84 |
| 1.2.4 | Standards | 18 | 4.1.2.6 | Besondere Verfahren | 86 |
| 1.3 | Stützstrukturen | 20 | 4.1.3 | Direkter Materialauftrag | 88 |
| 1.3.1 | Schichtbauprinzipien | 21 | 4.1.3.1 | Allgemeines | 88 |
| 1.3.2 | Stützstrukturgestaltung | 22 | 4.1.3.2 | Anlagen | 88 |
| 1.4 | Postprozess | 25 | 4.1.3.3 | Materialien und Verfahren | 89 |
| 1.4.1 | Auspackanlagen | 25 | 4.1.3.4 | Stützkonstrukte | 90 |
| 1.4.2 | Bauteilveredlung | 25 | 4.1.3.5 | Anforderungen an die Druckköpfe | 91 |
| 1.4.3 | Thermische Nachbehandlung | 26 | 4.1.3.6 | Schichterzeugung | 92 |
| 1.4.4 | Gefahren im Postprozess | 26 | 4.1.3.7 | Postprocessing | 94 |
| 2 | Prozessketten | 27 | 4.1.3.8 | Multi-Jet Modeling (MJM) | 94 |
| 2.1 | Rapid Product Development (RPD) | 27 | 4.1.3.9 | 3D-Wax-Printing | 95 |
| 2.2 | Modellarten | 29 | 4.1.3.10 | Poly-Jet-Modeling (PJM) | 97 |
| 2.3 | Rapid Prototyping (RP) | 31 | 4.2 | Selektives Lasersintern (LS) | 98 |
| 2.4 | Rapid Tooling (RT) | 34 | 4.2.1 | Funktionsprinzip | 98 |
| 2.4.1 | Direkte Herstellung von Formen und Werkzeugen | 34 | 4.2.2 | LS-Prozess | 99 |
| 2.4.2 | Indirekte Herstellung von Formen und Werkzeugen | 36 | 4.2.2.1 | Teilevorbereitung | 100 |
| 2.5 | Rapid Manufacturing (RM) | 39 | 4.2.2.2 | Anfertigung | 101 |
| 3 | Potenziale Additiver Fertigung (AM) | 41 | 4.2.2.3 | Nachbearbeitung | 102 |
| 3.1 | Entwicklungsgang | 41 | 4.2.3 | Laser | 102 |
| 3.2 | Materialien | 42 | 4.2.4 | LS-Baumaterialien | 103 |
| 3.2.1 | Kunststoffe | 44 | 4.2.5 | Erzielbare Genauigkeit | 104 |
| 3.2.1.1 | Photopolymerisation | 48 | 4.2.6 | Maschinen-Realisierungen | 104 |
| 3.2.1.2 | Laser-Sintern (LS) | 50 | 4.2.7 | Anwendungsbereiche | 105 |
| 3.2.1.3 | Extrudieren | 51 | 4.3 | Selektives Maskensintern (SMS) | 106 |
| 3.2.1.4 | Pulverdruck-Polymerisation | 52 | 4.3.1 | Allgemeines | 106 |
| 3.2.2 | Metalle | 52 | 4.3.2 | Verfahren mit direkter Belichtung | 107 |
| 3.2.3 | Minerale | 55 | 4.3.3 | Verfahren mit Abbildeoptik | 108 |
| 3.3 | Anwendungsgebiete | 56 | 4.3.4 | Materialien und Beispiele für Teile | 109 |
| 3.3.1 | Integralbauteile | 58 | 4.4 | Additiver Verarbeitung von Metallen | 110 |
| 3.3.2 | Mode-Design | 60 | 4.4.1 | Pulverstrahlbasierte Verfahren | 111 |
| 3.3.3 | Zerstörungsfreie Archäologie | 61 | 4.4.2 | Drahtbasierte Verfahren | 111 |
| 3.3.4 | Architektur | 63 | 4.4.3 | Pulverbettbasierte Verfahren | 111 |
| 3.3.5 | Bio-Manufacturing | 64 | 4.4.3.1 | Funktionsprinzip | 113 |
| 3.3.5.1 | Dentaltechnik | 64 | 4.4.3.2 | Der Strahlschmelzprozess | 113 |
| 3.3.5.2 | Prothetik und Herstellung von chirurgischen Modellen | 66 | 4.4.3.3 | Teilvorbereitung | 114 |
| 3.3.5.3 | Hörakustik | 68 | 4.4.3.4 | Anfertigung | 114 |
| 3.3.5.4 | Tissue Engineering | 69 | 4.4.3.5 | Strahlquellen | 114 |
| 3.3.6 | Personal-3D-Printer (Desktop-3D-Printer) | 72 | 4.4.4 | Baumaterialien | 115 |
| 3.3.7 | 3D-MID | 74 | 4.4.5 | Erzielbare Genauigkeiten | 115 |
| 3.4 | 3D-Druck von Elektronikkomponenten | 74 | 4.4.6 | Maschinen-Realisierungen | 115 |
| | | | 4.5 | Layer Laminated Manufacturing (LLM) | 117 |
| | | | 4.5.1 | Traditionelle Schichtbauweisen | 117 |
| | | | 4.5.2 | Automatisierung | 118 |
| | | | 4.5.3 | Materialien | 119 |
| | | | 4.5.4 | LLM-Verfahren | 120 |
| | | | 4.5.4.1 | Laminated Object Modeling (LOM) | 120 |
| | | | 4.5.4.2 | Paper Laminated Technology (PLT) | 122 |
| | | | 4.5.4.3 | MCoR-Verfahren | 123 |
| | | | 4.5.4.4 | PVC Laminated Technology | 125 |
| | | | 4.5.4.5 | Layer Milling Process (LMC) | 126 |

| | | | | | |
|------------|--|------------|--|---|------------|
| 4.5.4.6 | Automatisierung mit Roboter | 127 | 5.5.2 | Druckverfahren | 169 |
| 4.5.4.7 | Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM) | 128 | 5.5.3 | Auflösung, Genauigkeit und Frequenz . . . | 173 |
| 4.6 | Fused Layer Modeling (FLM) | 129 | 5.5.4 | Aufbau des Drucksystems | 175 |
| 4.6.1 | Funktionsprinzip | 129 | 5.5.5 | Sonderformen | 176 |
| 4.6.2 | FLM-Prozess | 130 | 5.6 | Laserbasierte AM-Systeme | 177 |
| 4.6.2.1 | Teilevorbereitung | 130 | 5.7 | Thermische Düsensysteme | 179 |
| 4.6.2.2 | Anfertigung | 132 | 5.7.1 | Extrusionsköpfe für drahtförmige Werkstoffe | 179 |
| 4.6.2.3 | Nachbearbeitung | 132 | 5.7.2 | Extrusionsköpfe für thermisch plastifizierte Werkstoffe | 180 |
| 4.6.3 | Extrusionsköpfe | 132 | 5.7.3 | Extrusionsköpfe für thermisch geschmolzene Werkstoffe | 180 |
| 4.6.4 | Baumaterialien | 132 | 5.8 | Hybridsysteme | 181 |
| 4.6.5 | Erzielbare Genauigkeit | 134 | 6 | 3D-Datenfluss | 182 |
| 4.6.6 | Maschinen-Realisierungen | 134 | 6.1 | CAD-Datenmodell | 182 |
| 4.6.7 | Anwendungsbereiche und Folgeprozesse | 135 | 6.1.1 | CAD-Flächenmodell | 182 |
| 4.7 | Stereolithographie (STL) | 136 | 6.1.2 | Volumenmodelle | 184 |
| 4.7.1 | Funktionsprinzip | 136 | 6.2 | Voxelmodell | 184 |
| 4.7.2 | Stereolithographie-Prozess | 136 | 6.3 | Schnittstellenformate | 185 |
| 4.7.2.1 | Teilevorbereitung | 137 | 6.3.1 | STL-Format | 185 |
| 4.7.2.2 | Anfertigung | 138 | 6.3.2 | SLC-Format | 186 |
| 4.7.2.3 | Nachbearbeitung | 139 | 6.3.3 | VRML-Format | 187 |
| 4.7.3 | Laser | 139 | 6.3.4 | Additive Manufacturing File Format (AMF) | 188 |
| 4.7.4 | STL-Baumaterialien | 140 | 6.3.5 | Weitere Datenformate | 189 |
| 4.7.5 | Erzielbare Genauigkeit | 141 | 7 | 3D-Scannen | 192 |
| 4.7.6 | Maschinen-Realisierungen | 141 | 7.1 | Anwendungen | 192 |
| 4.7.7 | Anwendungsbereiche und Folgeprozesse | 142 | 7.2 | Triangulationstechnologie | 193 |
| 4.8 | Flächige UV-Belichtungsverfahren | 144 | 7.2.1 | Räumliche Wahrnehmung und Triangulation | 193 |
| 4.8.1 | Allgemeines | 144 | 7.2.2 | Erfassung von Punkten und Linien | 194 |
| 4.8.2 | Belichtungstechnologie | 146 | 7.2.3 | Streifenlichtscanner | 195 |
| 4.8.2.1 | Selektiv flächige Belichtung | 147 | 7.2.3.1 | Scannen mit Einzellichtpunkt | 195 |
| 4.8.2.2 | Belichtung mit DLP | 147 | 7.2.3.2 | Linienprojektionsverfahren | 196 |
| 4.8.2.3 | Belichtung mit Mikroschutter | 148 | 7.2.3.3 | Besonderheiten und Beispiele | 198 |
| 4.8.3 | Bauprozesse | 149 | 7.2.4 | Photogrammetrie | 202 |
| 4.8.3.1 | Solid Ground Curing | 149 | 7.3 | Autofokus-Systeme | 204 |
| 4.8.3.2 | Stationäre Belichtung von oben | 149 | 7.4 | Lichtlaufzeitsysteme | 205 |
| 4.8.3.3 | Stationäre Belichtung von unten | 149 | 7.5 | Theodolit-Messsysteme | 205 |
| 4.8.3.4 | Bewegte Belichtung | 151 | 7.6 | Röntgen-Computertomographie (CT) | 206 |
| 5 | Aufbau der AM-Anlagen | 152 | 7.6.1 | Allgemeines | 206 |
| 5.1 | Allgemeines zur Konstruktion | 152 | 7.6.2 | Funktionsweise und Technik | 207 |
| 5.1.1 | Z-Achse | 154 | 7.6.2.1 | CT in der industriellen Messtechnik | 207 |
| 5.1.1.1 | Z-Achse in konventionellen Systemen | 154 | 7.6.2.2 | Auflösung | 208 |
| 5.1.1.2 | Kastenloses Bauen | 156 | 8 | Virtuelle Umgebung | 210 |
| 5.1.1.3 | Continuous 3D-Printing | 157 | 8.1 | Allgemeines | 210 |
| 5.1.1.4 | Parallelkinematik | 158 | 8.2 | Szenensteuerung | 211 |
| 5.1.1.5 | Portalanlagen - Contour Crafting | 159 | 8.3 | Tracking | 212 |
| 5.1.1.6 | 5-Achssysteme | 159 | 8.4 | Augmented Reality, Mixed Reality | 213 |
| 5.1.2 | Prozesskammer | 160 | Fachwörterbuch Deutsch-Englisch, Sachwortverzeichnis | 214 | |
| 5.1.3 | Maschinengestelle | 160 | Literatur | 219 | |
| 5.2 | Aufbau pulververarbeitender Systeme | 161 | Normen und Richtlinien | 220 | |
| 5.2.1 | Beschichtungssysteme | 161 | Publikationen der Autoren | 221 | |
| 5.2.2 | Pulverzuführung | 162 | Quellenverzeichnis | 222 | |
| 5.2.3 | Materialbevorratung | 163 | | | |
| 5.2.4 | Formbehälter | 163 | | | |
| 5.3 | Aufbau flüssigkeitsverarbeitender Systeme | 164 | | | |
| 5.4 | Aufbau laminierender Systeme | 166 | | | |
| 5.4.1 | Materialversorgung | 166 | | | |
| 5.4.2 | Konturschneiden | 166 | | | |
| 5.4.3 | Schichtverbinden | 167 | | | |
| 5.5 | Druckkopfsysteme | 168 | | | |
| 5.5.1 | Allgemeines | 168 | | | |