

Inhaltsverzeichnis

1	Additive Fertigung – kurze Einführung	1
2	Industrialisierung von AM	2
2.1	Von den Prototypen zur industriellen Fertigung	5
	a) Funktionalität	6
	b) Werkstoffe	6
	c) Reproduzierbarkeit	6
	d) Prozess-Nachweis	6
	e) Kosten	7
	f) Durchgängige Prozesse	8
	g) Fertigungseinbindung	11
2.2	Daten-Formate	12
	a) STL	12
	b) VRML	13
	c) 3MF/AMF	13
	d) PLM-Formate	15
	e) Drucker-Hersteller	16
2.3	Produktentwicklung	17
	a) Funktionsgerecht konstruieren	17
	b) Restriktionen traditioneller Fertigung umgehen	17
	c) Funktionale Auslegung	18
	d) Bionisches Design	22
2.4	Topologie-Optimierung	27
	a) CAD-Programme	27
	b) FEM-Programme	29
	c) Konstruktionsoptimierung (Adaption)	30
	d) Validieren	31
2.5	Konstruktions-Check	31
	a) Wandstärken, Keile und Spaltmaße	31
	b) Inseln/Überhang	32
	c) Stütz-Strukturen	32
	d) Treppenstufeneffekt	33
	e) Hohlräume	34
	f) VDI-Richtlinien	34
	g) Konstruktions-Check vs. Fertigungs-Check	34

3	Additive Fertigungsverfahren	36
3.1	Übersicht	36
3.2	Basis-Metalle	39
	a) Pulverbett-Schmelzen (Powderbed Fusion)	41
	b) Pulverauftrag-Verfahren	45
	c) Draht-basierter Auftrag	48
	d) Flüssig-Metall-Auftrag	49
	e) Hybrid Machining	49
	f) Aufbau-Raten und Genauigkeit	53
3.3	Basis-Kunststoffe/Keramik	54
	a) Stereolithographie (Vat Photopolymerization)	54
	b) Material Extrusion	55
	c) Laser-Sintern (SLS)	59
	d) Binder Jetting	59
	e) Material Jetting	62
	f) Continuous Liquid Interface Production (CLIP)	63
	g) ARBURG Plastic Freeforming (APF)	63
4	Herstellungsprozess	64
4.1	Arbeitsvorbereitung (Pre-Processing)	64
	a) Printability Check	64
	b) Mehr-Achsen-Auftrag (Material Deposition)	64
	c) Ebenen-Auftrag (Pulverbett etc.)	67
	d) Serialisierung	77
	e) Fertigungssimulation	78
4.2	Fertigung (Processing)	80
	a) Pulver-Management	80
	b) Aufbau-Prozess	81
	c) Prozess-Ende	82
3.3	Nacharbeit (Post-Processing)	83
	a) Vorbereitung	83
	b) Wärmebehandlung	83
	c) Spanende Bearbeitung	84
	d) Oberflächen-Veredelung	85
	e) Kunststoff-Teile nachbearbeiten	85
	f) Qualitätssicherung	86
4.4	Hybrid Machining	89

5	Werkstoffe	91
5.1	Einleitung	91
5.2	Aktuelle Werkstoffe	92
	a) Photopolymere	94
	b) Filament-Werkstoffe	96
	c) Pulverförmige Werkstoffe	97
5.3	Serienquantifizierung der Werkstoffe	112
6	Sinnvoller Einsatz/Anwendungsfälle	114
6.1	Produkt – Neue oder verbesserte Funktionen	115
6.2	Prozess	117
	a) Schneller und „on demand“	117
	b) Preiswerter	117
	c) Weniger Teile	117
	d) Halbzeuge	118
	e) Mass-Customization	122
	f) Reparatur	124
6.3	Lebensdauer	125
	a) Leichter	125
	b) Haltbarkeit	126
	c) Verbesserte Zykluszeiten	128
6.4	Nachhaltigkeit	130
7	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	131
7.1	Grundsätzliches	131
7.2	Methode zur Ermittlung der Herstellkosten von laseradditiv gefertigten Bauteilen	131
	a) Modellgestützte Betrachtung einer Prozesskette	132
	b) Eingangsgrößen	133
7.3	Selektives Laserschmelzen (SLS, SLM)	141
	a) Pre-Processing	141
	b) Fertigung	142
	c) Nachbearbeitung von Rohbauteilen	150
7.4	Laser-Auftragschweißen (LMD)	151
	a) Pre-Processing	151
	b) Fertigung des Bauteils	152
	c) Nachbearbeitung von Rohbauteilen	155
7.5	Schlussbetrachtung	156

8	Industriezweige	157
8.1	Luft- und Raumfahrt	158
	a) Flugzeugbau	158
	b) Raumfahrt	163
8.2	Medizintechnik/Gesundheitswesen	163
	a) Einführung	163
	b) Anwendung am Körper	164
	c) Anwendung innerhalb des Körpers	168
	d) Weitere Anwendungen	172
8.3	Automobil-Industrie	173
	a) Ersatzteile on demand	174
	b) Betriebsmittel	174
	c) Leichtere Fahrzeuge	175
8.4	Maschinenbau	177
	a) Leichter bauen – schneller bewegen	177
	b) Funktional entwickeln	178
	c) Effektivere Fertigung	179
	d) Ersatzteile	180
8.5	Weitere Industriezweige	180
	a) Bauindustrie	180
	b) Schmuck	180
9	Datensicherheit und Produktpiraterie	181
9.1	Interne Sicherheit	184
9.2	Externe Sicherheit	185
9.3	Produktkennzeichnungen	187
9.4	Rechtliche Aspekte	193
	a) Gestaltung von Verträgen und Urheberrecht	193
	b) Patent-, Marken- und Designschutz	194
	c) Zertifizierung externer Partner	195
9.5	Sichere Prozesskette Additive Fertigung	195

10	Trends in der Additiven Fertigung	199
10.1	Technik	199
	a) Ausbildung	199
	b) Pre-Processing	200
	c) Fertigung/Processing	202
	d) Post-Processing	206
10.2	Business	208
	a) Wachstum	208
	b) Patente SLS/SLM laufen aus	211
	c) Übergang zu einem Standard-Fertigungsverfahren	211
10.3	Sicherheit	211
	Abkürzungsverzeichnis	212
	Literaturverzeichnis	223