

Inhalt

Vorwort	VII
Prolog	XI
Die Autor:innen	XIII
Danksagung	XVII
Inhalt	XIX
1 Einordnung und Begriffsbestimmung	1
1.1 Systematik der Fertigungsverfahren	1
1.2 Systematik der Additiven Fertigungsverfahren	2
1.2.1 Begriffsbestimmungen	3
1.2.2 Eigenschaften der Additiven Fertigungsverfahren	3
1.3 Einteilung der Additiven Fertigungsverfahren	6
1.3.1 Rapid Prototyping	7
1.3.2 Rapid Manufacturing	9
1.3.2.1 Rapid Manufacturing – Direct Manufacturing	9
1.3.2.2 Rapid Manufacturing – Direct Tooling (Rapid Tooling – Prototype Tooling)	10
1.3.3 Nicht-additive Verfahren – Indirect Prototyping und Indirect Tooling	11
1.3.4 Rapid Prototyping oder Rapid Manufacturing?	12
1.3.5 Begriffsvielfalt	12
1.3.6 Wie schnell ist Rapid?	13

- 1.4 Integration der Additiven Fertigungstechnik in den Produktentstehungsprozess..... 14
 - 1.4.1 Additive Verfahren in der Produktentwicklung 14
 - 1.4.2 Additive Verfahren für die stückzahl-unabhängige Produktion 15
 - 1.4.3 Additive Verfahren für die individualisierte Produktion 15
- 1.5 Maschinen für die Additive Fertigung..... 16
 - 1.5.1 Fabber, Personal 3D-Drucker/Personal 3D Printer..... 18
 - 1.5.1.1 Fabber 18
 - 1.5.1.2 Personal 3D-Drucker/Personal 3D Printer 18
 - 1.5.2 Professional 3D-Drucker/Professional 3D Printer 18
 - 1.5.3 Production 3D-Drucker/Production 3D Printer oder Produktionsmaschinen 19
 - 1.5.4 Industrial 3D-Drucker..... 19
 - 1.5.5 Maschinenklassen und Bauteileigenschaften..... 19
- 2 Merkmale der Additiven Fertigungsverfahren 21**
 - 2.1 Verfahrensgrundlagen..... 21
 - 2.2 Erzeugung der mathematischen Schichtinformation 26
 - 2.2.1 Beschreibung der Geometrie durch einen 3D-Datensatz..... 27
 - 2.2.1.1 Datenfluss und Schnittstellen 27
 - 2.2.1.2 Modellierung dreidimensionaler Körper mittels 3D-CAD .. 29
 - 2.2.1.3 Modellierung dreidimensionaler Körper aus Messwerten 33
 - 2.2.2 Erzeugung der geometrischen Schichtinformationen der Einzelschichten..... 35
 - 2.2.2.1 STL-Format..... 35
 - 2.2.2.2 CLI-/SLC-Format 41
 - 2.2.2.3 PLY- und VRML-Format..... 44
 - 2.2.2.4 AMF-Format..... 45
 - 2.3 Physikalische Prinzipien zur Erzeugung der Schicht..... 47
 - 2.3.1 Generieren aus der flüssigen Phase 48
 - 2.3.1.1 Photopolymerisation – Stereolithographie (SL) 48
 - 2.3.1.2 Grundlagen der Polymerisation 49
 - 2.3.2 Generieren aus der festen Phase 60
 - 2.3.2.1 Schmelzen und Verfestigen von Pulvern und Granulaten – Sintern (Lasersintern, LS), Schmelzen..... 60

2.3.2.2	Ausschneiden aus Folien und Fügen – Layer Laminate Manufacturing (LLM)	68
2.3.2.3	Schmelzen und Verfestigen aus der festen Phase – Fused Layer Modeling (FLM)	71
2.3.2.4	Verkleben von Granulaten mit Bindern – 3D Printing (3DP) – Pulver-Binder-Verfahren	74
2.3.3	Generieren aus der Gasphase	76
2.3.3.1	Aerosoldruckverfahren	76
2.3.3.2	Laser Chemical Vapor Deposition (LCVD)	77
2.3.4	Sonstige Verfahren	78
2.3.4.1	Sonolumineszenz	79
2.3.4.2	Elektroviskosität	79
2.4	Elemente zur Erzeugung der physischen Schicht	79
2.4.1	Bewegungselemente	80
2.4.1.1	Plotter	80
2.4.1.2	Scanner	81
2.4.1.3	Parallelroboter (Delta Roboter)	82
2.4.2	Generierende und konturierende Elemente	83
2.4.2.1	Laser	83
2.4.2.2	Druckköpfe	85
2.4.2.3	Extruder	89
2.4.2.4	Schneidmesser	89
2.4.2.5	Fräser	90
2.4.3	Schichterzeugendes Element	90
2.5	Klassifizierung der additiven Fertigungsverfahren	91
2.6	Zusammenfassende Betrachtung der theoretischen Potenziale der additiven Fertigungsverfahren	93
2.6.1	Werkstoffe	94
2.6.2	Bauteileigenschaften	96
2.6.3	Details	96
2.6.4	Genauigkeiten	97
2.6.5	Oberflächengüte	98
2.6.6	Entwicklungspotenzial	98
2.6.7	Kontinuierliche 3D-Modellierung	99

3	Additive Fertigungsanlagen für Rapid Prototyping, Direct Tooling und Direct Manufacturing	103
3.1	Polymerisation – Stereolithographie (SL)	107
3.1.1	Maschinenspezifische Grundlagen	108
3.1.1.1	Laser-Stereolithographie	108
3.1.1.2	Digital Light Processing (DLP).....	117
3.1.1.3	PolyJet und Multi-Jet Modeling (MJM) und Paste Polymerization.....	119
3.1.1.4	Continuous Liquid Interface Production (CLIP)	120
3.1.2	Übersicht: Polymerisation – Stereolithographie	121
3.1.3	Stereo Lithography Apparatus (SLA) – 3D Systems	121
3.1.4	Mikrostereolithographie – microTEC	133
3.1.5	Digital Light Processing – EnvisionTEC	136
3.1.6	Digital Light Processing – Rapid Shape GmbH	143
3.1.7	Digital Light Processing – Shining 3D	145
3.1.8	Stereolithographie – Formlabs	146
3.1.9	Stereolithographie/Digital Light Processing – XYZprinting.....	148
3.1.10	Polymerdrucken – Stratasys/Objet.....	149
3.1.11	Multi-Jet-Modeling (MJM) – ProJet – 3D Systems	155
3.1.12	Digital Wax	159
3.1.13	Film Transfer Imaging – 3D Systems.....	162
3.2	Sintern/Selektives Sintern – Schmelzen im Pulverbett	165
3.2.1	Maschinenspezifische Grundlagen	166
3.2.2	Übersicht: Sintern – Schmelzen	176
3.2.3	Lasersintern – 3D Systems.....	178
3.2.3.1	Laser Sintering, SLS – 3D Systems.....	178
3.2.3.2	Direct Metal Printing DMP-3D Systems.....	183
3.2.4	Lasersintern – EOS GmbH	184
3.2.5	Selektives Lasersintern – Formlabs.....	190
3.2.6	Selektives Lasersintern – Sinterit	190
3.2.7	Laserschmelzen – DMG Mori	192
3.2.8	Laserschmelzen – Nikon SLM Solutions AG	193
3.2.9	Laserschmelzen – Renishaw LTD.....	194
3.2.10	LaserCusing – GE Additive/ConceptLaser GmbH.....	196

3.2.11	Laser Metal Fusion (LMF) – TRUMPF	198
3.2.12	Elektronenstrahlsintern – GE Additive/ARCAM	199
3.2.13	Laserschmelzen – Aconity3D GmbH.....	201
3.2.14	Laserstrahlschmelzen – Additive Industries.....	202
3.2.15	Pulverbettfusion – AddUp GmbH.....	203
3.2.16	Powder Bed Fusion – EPlus 3D	204
3.2.17	Powder Bed Fusion – Farsoon Technologies	206
3.2.18	Laser powder bed fusion – One Click Metal GmbH.....	207
3.2.19	Laser Powder Bed Fusion – Laser Melting Innovations GmbH (LMI)	208
3.2.20	Selective Laser Melting – ZRapid	209
3.2.21	Laser Metal Fusion – SISMA	210
3.3	Beschichten – Schmelzen mit der Pulverdüse.....	212
3.3.1	Verfahrensprinzip	212
3.3.1.1	Pulverdüsenkonzepte	214
3.3.1.2	Prozessüberwachung und -regelung.....	215
3.3.2	Laser Engineered Net Shaping (LENS) – OPTOMECH	215
3.3.3	Laser Metal Deposition (LMD), TRUMPF	219
3.3.4	Laser Metal Deposition – DM3D Technology.....	223
3.3.5	Directed Energy Deposition – RPM Innovations, Inc.....	225
3.3.6	Directed Energy Deposition – Ponticon GmbH.....	226
3.3.7	Laser Metal Deposition – FormAlloy Technologies Inc.	228
3.3.8	Laser Metal Deposition – InssTek Inc.....	229
3.4	Beschichten – Schmelzen mit Draht	231
3.4.1	Laser Metal Deposition – Meltio.....	232
3.4.2	Directed Energy Deposition – ADDILAN FABRICACIÓN ADITIVA S.L.	233
3.4.3	RPM – NorskTitanium.....	234
3.4.4	EBAM – Sciaky	235
3.5	Schicht-Laminat-Verfahren – Layer Lamine Manufacturing (LLM)	237
3.5.1	Übersicht: Schicht-Laminat-Verfahren.....	237
3.5.2	Maschinenspezifische Grundlagen	237
3.5.3	Laminated Object Manufacturing (LOM) – Cubic Technologies.....	242
3.5.4	Rapid Prototyping System (RPS) – Kinergy	247
3.5.5	Selective Adhesive and Hot Press Process (SAHP) – Kira	247
3.5.6	Layer Milling Process (LMP) – Zimmermann	247

3.5.7	Stratoconception – rp2i	248
3.5.8	Selective Deposition Lamination (SDL) – Mcor	249
3.5.9	Plastic Sheet Lamination – Solido	253
3.5.10	Sonstige Schicht-Laminat-Verfahren	253
3.5.10.1	Bauteile aus Metalllamellen – Laminated Metal Prototyping	253
3.6	Extrusionsverfahren – Fused Layer Modeling (FLM)	254
3.6.1	Übersicht: Extrusionsverfahren	254
3.6.2	Fused Deposition Modeling (FDM) – Stratasys	255
3.6.3	Fused Deposition Modeling – Markforged	268
3.6.4	Fused Deposition Modeling – WASP	269
3.6.5	Wachsprinter – Solidscape	271
3.6.6	Multi-Jet-Modeling (MJM) – ThermoJet – 3D Systems	275
3.6.7	ARBURG Kunststoff-Freiformen (AF) – ARBURG GmbH	275
3.7	Three Dimensional Printing (3DP)	280
3.7.1	Übersicht: 3D Printing	280
3.7.2	3D Printer – 3D Systems/Z-Corporation	281
3.7.3	Metall- und Formsand-Printer – Desktop Metal (ehemals ExOne) ..	285
3.7.3.1	Metall-Linie: Direct Metal Printer	287
3.7.3.2	Formsand-Linie: Direct Core and Mold Making Machine ..	290
3.7.4	Direct Shell Production Casting (DSPC) – Soligen	293
3.7.5	3D-Drucksystem – Voxeljet	296
3.7.6	Maskless Mesoscale Material Deposition (M3D) – OPTOMECH	300
3.8	Hybridverfahren	304
3.8.1	Laserauftragsschweißen und Fräsen – Controlled Metal Build Up (CMB) – Röders	305
3.8.2	Laminieren und Ultraschallschweißen – Ultrasonic Consolidation – Fabrisonic/Solidica	308
3.8.3	Metallpulverauftragsverfahren (MPA) – Hermle	312
3.8.4	Hybrid (Additive and Subtractive manufacturing) – DGM-MORI ..	316
3.8.5	Extrudieren und Fräsen – Big Area Additive Manufacturing (BAAM) – Cincinnati	321
3.9	Zusammenfassende Betrachtung der Additiven Fertigungsverfahren	326
3.9.1	Charakteristische Eigenschaften der Additiven Fertigungsverfahren im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren	327

3.9.2	Genauigkeit.....	330
3.9.3	Oberflächen.....	333
3.9.4	Benchmark-Tests und User-Parts.....	337
3.10	Entwicklungsziele.....	340
3.11	Folgeprozesse.....	341
3.11.1	Zielwerkstoff Kunststoff.....	341
3.11.2	Zielwerkstoff Metall	341
4	Rapid Prototyping	343
4.1	Einordnung und Begriffsbestimmung.....	343
4.1.1	Eigenschaften von Prototypen	343
4.1.2	Charakteristika des Rapid Prototyping.....	345
4.2	Strategische Aspekte beim Einsatz von Prototypen	345
4.2.1	Produktentwicklungsschritte	346
4.2.2	Time to market.....	346
4.2.3	Frontloading.....	347
4.2.4	Digitales Produktmodell.....	350
4.2.5	Die Grenzen der physischen Modellierung.....	352
4.2.6	Kommunikation und Motivation.....	353
4.3	Operative Aspekte beim Einsatz von Prototypen	353
4.3.1	Rapid Prototyping als Werkzeug zur schnellen Produktentwicklung.....	354
4.3.1.1	Modelle	354
4.3.1.2	Modellklassen	354
4.3.1.3	Modellklassen und Additive Verfahren	358
4.3.1.4	Zuordnung von Modellklassen und Modelleigenschaften zu den Familien der Additiven Fertigungsverfahren.....	363
4.3.2	Anwendung des Rapid Prototyping in der industriellen Produktentwicklung.....	365
4.3.2.1	Beispiel: Pumpengehäuse.....	365
4.3.2.2	Beispiel: Büroleuchte.....	367
4.3.2.3	Beispiel: Einbauleuchtenfassung	370
4.3.2.4	Beispiel: Modellbaggerarm	371
4.3.2.5	Beispiel: LCD-Projektor.....	375
4.3.2.6	Beispiel: Kapillarboden für Blumentöpfe.....	376

4.3.2.7	Beispiel: Gehäuse einer Kaffeemaschine	377
4.3.2.8	Beispiel: Ansaugkrümmer eines Vierzylindermotors	378
4.3.2.9	Beispiel: Cocktailbecher	379
4.3.2.10	Beispiel: Spiegeldreieck	380
4.3.2.11	Beispiel: Cabrioüberdeck	380
4.3.3	Rapid Prototyping Modelle zur Visualisierung von 3D-Daten	384
4.3.4	Rapid Prototyping in der Medizin	385
4.3.4.1	Charakteristika medizinischer Modelle	385
4.3.4.2	Anatomische Faksimiles	387
4.3.4.3	Beispiel: Anatomisches Faksimile für eine Umstellungsosteotomie.	389
4.3.5	Rapid Prototyping in Design, Kunst und Architektur	390
4.3.5.1	Modellbildung in Design und Kunst	390
4.3.5.2	Beispiel Kunst: Computer-Skulptur	391
4.3.5.3	Beispiel Design: Flaschenöffner	392
4.3.5.4	Angewandte Kunst – Bildhauerei und Plastiken.	393
4.3.5.5	Beispiel Archäologie: Büste der Königin Teje	395
4.3.5.6	Modellbildung in der Architektur	396
4.3.5.7	Beispiel Architektur: Deutscher Pavillon für die Expo '92..	396
4.3.5.8	Beispiel Architektur: Ground Zero.	397
4.3.5.9	Beispiel Architekturdenkmäler: Dokumentation von baugeschichtlich relevanten Gebäuden	398
4.3.6	Rapid Prototyping zur Überprüfung von Rechenverfahren	399
4.3.6.1	Spannungsoptische und thermoelastische Spannungsanalyse	399
4.3.6.2	Beispiel: Spannungsoptische Spannungsanalyse an einem Kipphebel eines Lkw-Verbrennungsmotors	401
4.3.6.3	Beispiel: Thermoelastische Spannungsanalyse zum Festigkeitsnachweis an einer Automobilfelge.	403
4.4	Ausblick.	405

5	Rapid Tooling	407
5.1	Einordnung und Begriffsbestimmung	407
5.1.1	Direkte und indirekte Verfahren	408
5.2	Eigenschaften additiv gefertigter Werkzeuge	410
5.2.1	Strategische Aspekte beim Einsatz Additiver Werkzeuge	410
5.2.1.1	Schnelligkeit.	410
5.2.1.2	Umsetzung neuer technischer Konzepte	411
5.2.2	Konstruktive Eigenschaften additiv gefertigter Werkzeuge	413
5.2.2.1	Prototypenwerkzeuge	413
5.2.2.2	Bereitstellung der Daten.	417
5.3	Indirekte Rapid Tooling-Verfahren – Abformverfahren und Folgeprozesse	418
5.3.1	Eignung Additiver Verfahren zur Herstellung von Urmodellen für Folgeprozesse.	418
5.3.2	Indirekte Verfahren zur Herstellung von Werkzeugen für Kunststoffbauteile	420
5.3.2.1	Abgießen in weiche Werkzeuge oder Formen	421
5.3.2.2	Abgießen in harte Werkzeuge	425
5.3.2.3	Andere Abformverfahren für harte Werkzeuge.	429
5.3.3	Indirekte Verfahren zur Herstellung von Metallbauteilen	430
5.3.3.1	Der Feingussprozess mit additiven Prozessschritten	430
5.3.3.2	Werkzeuge durch Feinguss von Rapid Prototyping Urmodellen	433
5.4	Direkte Rapid Tooling-Verfahren	434
5.4.1	Prototype Tooling – Werkzeuge auf der Basis von Kunststoff – 3D-Druckverfahren	434
5.4.1.1	Ausgießen von 3D-gedruckten Bauteilen	435
5.4.1.2	3D-gedruckte Werkzeugeinsätze	435
5.4.1.3	Tiefziehen oder Thermoformen	438
5.4.1.4	Herstellung von Kernen und Formen für den Metallguss ..	438
5.4.2	3D-Druck von Metallwerkzeugen	440
5.4.2.1	Metallwerkzeuge auf der Basis von mehrstufigen additiven Prozessen.	440
5.4.2.2	Metallwerkzeuge auf der Basis von einstufigen additiven Prozessen.	442
5.5	Ausblick.	451

- 6 Additive Manufacturing: Direct Manufacturing – Rapid Manufacturing 453**
- 6.1 Einordnung und Begriffsbestimmungen..... 454
 - 6.1.1 Begriffe..... 455
 - 6.1.2 Vom Rapid Prototyping zum Rapid Manufacturing 456
 - 6.1.3 Workflow für das Rapid Manufacturing 458
 - 6.1.4 Anforderungen an die direkte additive Fertigung 458
- 6.2 Potenziale der additiven Fertigung von Endprodukten..... 459
 - 6.2.1 Erhöhte Konstruktionsfreiheit..... 459
 - 6.2.1.1 Erweiterte konstruktive und gestalterische Möglichkeiten. 459
 - 6.2.1.2 Geometrie- und Funktionsintegration..... 461
 - 6.2.1.3 Neuartige Konstruktionselemente..... 462
 - 6.2.2 Herstellung traditionell nicht herstellbarer Produkte 463
 - 6.2.3 Variation und Adaptierung von Massenprodukten..... 464
 - 6.2.4 Adaption von Massenprodukten 465
 - 6.2.5 Personalisierung von Massenprodukten..... 466
 - 6.2.5.1 Passive Personalisierung – Hersteller Personalisierung. ... 467
 - 6.2.5.2 Aktive Personalisierung – Kunden Personalisierung 469
 - 6.2.6 Realisierung neuer Werkstoffe..... 471
 - 6.2.7 Realisierung neuer Fertigungsstrategien..... 472
 - 6.2.8 AM im Hochbau 474
 - 6.2.9 Ersatzteile 476
 - 6.2.10 Hybrid-Bauteile 477
 - 6.2.11 Entwurf neuer Arbeits- und Lebensformen 479
- 6.3 Anforderungen an additive Verfahren für die Fertigung 481
 - 6.3.1 Anforderungen an die additive Herstellung..... 481
 - 6.3.1.1 Anforderungen an den Prozess bei additiver Herstellung eines Bauteils..... 481
 - 6.3.1.2 Anforderung an die Materialien bei Herstellung eines Bauteils 483
 - 6.3.1.3 Anforderungen an die Organisation bei Herstellung eines Bauteils..... 486
 - 6.3.1.4 Anforderungen an die Konstruktion bei Herstellung eines Bauteils..... 486

6.3.1.5	Anforderungen an die Qualitätssicherung bei Herstellung eines Bauteils.	487
6.3.1.6	Anforderungen an die Logistik bei Herstellung eines Bauteils.	487
6.3.2	Anforderungen an die additive Serienfertigung mit heutigen Verfahren.	487
6.3.2.1	Anforderungen an den Prozess bei additiver Serienfertigung.	488
6.3.2.2	Anforderungen an die Materialien bei additiver Serienfertigung.	490
6.3.2.3	Anforderungen an die Organisation bei additiver Serienfertigung.	490
6.3.2.4	Anforderungen an die Konstruktion bei additiver Serienfertigung.	491
6.3.2.5	Anforderungen an die Qualitätssicherung bei additiver Serienfertigung.	491
6.3.2.6	Anforderungen an die Logistik bei additiver Serienfertigung.	491
6.3.3	Zukünftige Anforderungen an die additive Serienfertigung	491
6.3.3.1	Zukünftige Anforderungen an den Prozess bei additiver Serienfertigung.	492
6.3.3.2	Zukünftige Anforderungen an die Materialien bei additiver Serienfertigung.	494
6.3.3.3	Zukünftige Anforderungen an die Organisation bei additiver Serienfertigung.	495
6.3.3.4	Zukünftige Anforderungen an die Konstruktion bei additiver Serienfertigung.	496
6.3.3.5	Zukünftige Anforderungen an die Qualitätssicherung bei additiver Serienfertigung	497
6.3.3.6	Zukünftige Anforderungen an die Logistik bei additiver Serienfertigung.	498
6.4	Fertigungsanlagen zur Realisierung des Rapid Manufacturing.	499
6.4.1	Für die Fertigung optimierte Anlagen	499
6.4.2	Additive Fertigungsanlagen als Elemente einer Fertigungskette. ...	502
6.4.2.1	Industrielle Komplettfertigung	503
6.4.2.2	Individuelle Komplettfertigung (Personal Fabrication)	504
6.4.3	3D-Drucker als Flexible AM-Systeme (FAMS)	506

6.4.3.1	Vom Personal 3D-Drucker zum Flexiblen Additive Manufacturing System, FAMS	506
6.4.3.2	Concept Laser, Factory of Tomorrow.....	507
6.4.3.3	EOS M400	508
6.4.3.4	Additive Industries (AI) MetalFAB1	509
6.5	Anwendungen des Direct Manufacturing.....	510
6.5.1	Anwendungsfelder nach Werkstoffen	510
6.5.1.1	Metallische Werkstoffe und Legierungen.....	510
6.5.1.2	Hochleistungskeramiken	511
6.5.1.3	Beton	513
6.5.1.4	Kunststoffe	513
6.5.1.5	Neue Werkstoffe	514
6.5.2	Anwendungsfelder nach Branchen.....	515
6.5.2.1	Werkzeugbau.....	515
6.5.2.2	Hybridanwendungen im Werkzeugbau.....	517
6.5.2.3	Gießereiwesen.....	517
6.5.2.4	Medizinische Geräte und Hilfsmittel, Medizintechnik	521
6.5.2.5	Design und Kunst	526
6.5.2.6	Automobilbau	532
6.6	Perspektiven.....	536
6.6.1	Die Zerstörung des Ökosystems umkehren.....	538
7	Sicherheitsvorschriften und Umweltschutz.....	543
7.1	Gesetzliche Grundlagen für das Betreiben und das Herstellen von additiven Fertigungsanlagen	544
7.1.1	Baurecht.....	545
7.1.2	Wasserrecht	546
7.1.3	Gewerberecht.....	547
7.1.4	Immissionsschutzrecht	549
7.1.5	Abfallrecht.....	550
7.1.6	Chemikalienrecht	551
7.1.6.1	Sicherheitsdatenblätter.....	553
7.1.6.2	REACH.....	554
7.2	Anmerkungen zu Materialien für die additive Fertigung	555
7.3	Anmerkungen zur Benutzung von additiv gefertigten Bauteilen	557

8	Aspekte zur Wirtschaftlichkeit	561
8.1	Strategische Aspekte.....	562
8.1.1	Strategische Aspekte für den Einsatz additiver Verfahren in der Produktentwicklung	562
8.1.1.1	Qualitative Ansätze	562
8.1.1.2	Quantitative Ansätze.....	563
8.2	Operative Aspekte.....	564
8.2.1	Auswahl geeigneter additiver Fertigungsverfahren.....	565
8.2.2	Ermittlung der Kosten von Additiv-Manufacturing-Verfahren	566
8.2.2.1	Variable Kosten.....	566
8.2.2.2	Fixkosten	568
8.2.3	Charakteristika additiver Fertigungsverfahren und ihre Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit.....	572
8.3	Make or buy?	578
9	Zukünftige Rapid Prototyping-Verfahren	581
9.1	Mikrobauteile.....	582
9.1.1	Mikrobauteile aus Metall und Keramik.....	582
9.1.2	Mikrobauteile aus Metall mittels Laserschmelzen	583
9.1.2.1	Micro Laser Sintering (MLS)	584
9.1.3	Mikrobauteile aus Kunststoff mittels Polymerisation, Boston Micro Fabrication (BMF)	586
9.1.4	Nanoscribe	588
9.2	Contour Crafting	592
9.3	D-Shape-Prozess	593
9.3.1	Selective Inhibition of Sintering (SIS).....	595
9.3.2	Continuous Liquid Interface Production (CLIP) – Carbon 3D.....	595
9.3.3	SpiderFab.....	598
9.4	Fazit, Trends und Ausblick	600
9.4.1	Trends.....	600
9.4.2	Ausblick	601

10 Anhang..... 607

10.1 Übersicht Anlagenhersteller SLA 623

10.2 Übersicht Anlagenhersteller Polymer-Printing..... 635

10.3 Übersicht Sinter- und Schmelzanlagen 639

10.4 Übersicht Extrusionsanlagen..... 668

10.5 Übersicht Schicht-Laminat-Anlagen..... 682

10.6 Übersicht 3D-Drucker (Pulver-Binder-Verfahren) 690

10.7 Übersicht Anlagenhersteller DED 702

10.8 Übersicht hybride additive Anlagen..... 705

10.9 Werkstoffe für additive Prozesse und Gießharze 707

10.10 Begriffe und Abkürzungen..... 730

Index..... 751