



X.media.press

Petra Fastermann

X.media.press ist eine praxisorientierte Reihe zur Gestaltung und Produktion von Multimedia-Projekten sowie von Digital- und Printmedien.

3D-Druck/ Rapid Prototyping

**Eine Zukunftstechnologie -
kompakt erklärt**



Springer Vieweg

X . media . press



Petra Fastermann

3D-Druck/ Rapid Prototyping

Eine Zukunftstechnologie –
kompakt erklärt

Petra FASTERMANN
Düsseldorf, Deutschland

ISBN 978-3-642-29224-8 ISBN 978-3-642-29225-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-29225-5
Springer Heidelberg Dordrecht London New York

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE.

Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media

www.springer-vieweg.de

Vorwort

Im September 2009 las ich im Technik-Sonderteil des britischen Wochenmagazins „Economist“ zum ersten Mal einen Artikel über 3D-Druck. Das Thema faszinierte mich sofort.

Einige Monate später beschloss ich, mir selbst einen 3D-Drucker zu kaufen. Die Entscheidung, einen professionellen 3D-Drucker zu erwerben und damit eine Firma zu gründen, trifft sicher selten jemand von einem Tag auf den anderen.

Ich suchte nach Literatur zu 3D-Druck/Rapid Prototyping, um mich in die Thematik einzuarbeiten. Die meisten Bücher setzten jedoch beim Leser einen wissenschaftlichen Hintergrund voraus. Ende 2009 wusste ich noch nicht, wie man eine CAD-Zeichnung erstellt. Es fehlte mir an Grundkenntnissen der verwendeten Technologien, welche ich mir nach und nach langsam erarbeitete.

Diese habe ich strukturiert zusammengefasst und um das Wissen aus vielen wissenschaftlichen Quellen erweitert. So ist ein Grundlagenbuch entstanden. Es soll Leserinnen und Lesern, die sich für 3D-Druck/Rapid Prototyping interessieren, eine Einstiegshilfe sein.

Ich danke allen, die mir großzügig ihre Fotos für die Veröffentlichung zur Verfügung gestellt haben. Über Modelle und Verfahren zu lesen ist etwas anderes, als sich tatsächlich im wörtlichen Sinne „ein Bild davon machen“ zu können.

Mein besonderer Dank gilt dabei Edward von Flottwell, der mich nicht nur mit seinen Vorschlägen und Fotos unterstützt hat. Ohne sein Know-how, seine Geduld und seinen Zuspruch wäre das Buch sicher nicht so schnell entstanden.

Herzlichen Dank an Frau Fischer, Frau Glaunsinger und Herrn Sieben, die dieses Buchprojekt betreut und daraus ein ordentliches, fertiges Produkt geschaffen haben.

Düsseldorf, im Juli 2012

Petra Fastermann

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Themenauswahl	1
1.2 Aufbau des Buchs	2
1.3 Für wen ist dieses Buch?	3
1.4 In diesem Buch verwendete Konventionen	4
2. Kurzer Abriss der Geschichte des modernen Prototypenbaus	5
3. Grundlagen und Hintergrund zum 3D-Druck	7
3.1 Wie funktioniert 3D-Druck?	7
3.2 Das Druckverfahren, Schritt für Schritt.....	13
3.3 Der 3D-Druckprozess im PolyJet-Druckverfahren	17
3.4 Fertigungskette von Modellen: am Beispiel des 3D-Drucks eines Teufels mit einem Drucker der Firma Objet.....	18
3.5 Software für 3D-Druck	21
3.5.1 Kostenlos erhältliche Programme	22
3.5.2 Kommerzielle Programme	27
4. 3D-Druck für alle	29
4.1 Auch ohne CAD-Ausbildung	29
4.2 ... und „Maker“ Movement	33
4.3 Bewegliche Teile drucken.....	35
4.4 In Farbe drucken	38
4.5 RepRap – der 3D-Drucker, der seinen Nachfolger selbst druckt	41
4.6 3D-Drucken – kinderleicht	46
4.7 Der kleinste 3D-Drucker der Welt	47
4.8 FabLabs	49
4.9 Wie heute schon die Copy Shops: Walk-in-3D-Shops bald an jeder Ecke?.....	51
4.10 Scannen und das Gescannte drucken	52
4.10.1 3D-Scannen mit „Hausmitteln“	55

5.	3D-Druck in praktischen Anwendungsbereichen	57
5.1	Noch mehr Kunst – 3D-Druck eröffnet neue Möglichkeiten	57
5.2	3D-Druck im Design: ausgewählte 3D-Objekte von Designern ...	61
5.2.1	Coburg-designlab, Coburg	61
5.2.2	SHAPES iN PLAY, Berlin	67
5.2.3	3D-Druck im Modellbau – Modellbauerträume werden Wirklichkeit, einige Beispiele	69
5.3	3D-Druck in der Schmuck-Industrie	76
5.4	Schmuckherstellung auch für Laien – an einem einfachen Beispiel gezeigt	77
5.5	Welche Möglichkeiten die 3D-Druck-Technologie noch eröffnet – und wo ihre Grenzen sind.....	79
6.	Ausblick: 3D-Druck als Zukunftstechnologie	81
6.1	Der 3D-Drucker als Wirtschaftsrevolutionär – Ansichten und Prognosen	81
6.1.1	Jeder kann Hersteller werden	82
6.1.2	Mass Customization	83
6.1.3	Unterschiedliche 3D-Druck-Materialien in der Testphase	86
6.1.4	Gegenwärtig übliche 3D-Druck-Materialien	88
6.1.5	Jobless Technology, Urheberrechte und Produktpiraterie	89
6.1.6	Perspektiven – Forschung in Deutschland	90
6.2	3D-Druck in der Luft- und Raumfahrt.....	91
6.3	3D-Druck in der Robotik	94
6.4	3D-Druck in der Automobilindustrie	96
6.4.1	Das Plugin-Hybridauto „Urbee“	97
6.4.2	Local Motors – Open Source in der Automobilindustrie	97
6.5	3D-Druck in der Zahntechnik	101
6.6	3D-Druck in der Filmindustrie	102
6.7	3D-Druck in der Medizintechnik	103
6.7.1	Bioprinting	103
6.7.2	Tissue Engineering.....	104
6.7.3	Implantate.....	105
6.7.4	Prothesenkosmetiken – individuell	106
6.7.5	Prothesen – preisgünstig und über Open Source?.....	107
6.8	3D-Druck und die Umwelt	109
6.8.1	3D-Druck als nachhaltige Technologie	109
6.8.2	3D-Druck ermöglicht umweltfreundliche Formstoffe in der Gießerei	113
7.	Messen, die Sie interessieren könnten	115
7.1	EuroMold in Frankfurt/Main	115
7.2	Rapid.Tech in Erfurt	116

8. Rapid-Prototyping-Verfahren: eine Übersicht	117
8.1 3D-Druck mit Gipspulver	117
8.2 Selektives Lasersintern (SLS)	118
8.3 Selektives Laserschmelzen (SLM, Selective Laser Melting)	119
8.4 Elektronenstrahlschmelzen (EBM, Electron Beam Melting)	119
8.5 Fused Deposition Modeling (FDM, Schmelzschichtung)	120
8.6 Laserauftragschweißen	120
8.7 Multi-Jet Modeling (MJM)	121
8.8 Stereolithographie (STL oder auch SLA)	121
8.9 Film Transfer Imaging (FTI)	122
8.10 Digital Light Processing (DLP)	123
8.11 PolyJet	123
8.12 Laminated Object Modeling (LOM) oder Folienlaminiert- 3D-Druck	124
8.13 Polyamidguss	125
8.14 Space Puzzle Molding (SPM)	125
8.15 Contour Crafting (CC)	125
9. Rapid Prototyping zum Anschauen	127
9.1 Beispiele einiger Rapid-Prototyping-Maschinen repräsentativ ausgewählter Hersteller	127
9.2 3D Systems	128
9.2.1 Die großen Produktionsanlagen des Unternehmens	128
9.2.2 V-Flash Desktop Modeler	129
9.2.3 Der 3D-Drucker RapMan – von 3D Systems vertrieben	131
9.2.4 Cubify – 3D Systems bietet ein Gesamtpaket	133
9.3 Objet	134
9.3.1 Connex und Eden	135
9.3.2 Objet 24 und Objet 30	137
9.4 Dimension	140
9.4.1 SST- und Elite-Drucker	140
9.4.2 Der 3D-Drucker Dimension BST (Breakaway Support Technology)	140
9.5 Solidscape (Stratasys)	142
9.5.1 Der 3D-Drucker T76PLUS	144
9.6 ZCorporation	147
9.6.1 Der ZPrinter150	147
9.6.2 Der ZPrinter250	148
9.7 Entscheidungshilfe für ein Rapid-Prototyping-Verfahren	149
10. Rapid-Prototyping-Maschinen: Herstellerverzeichnis	153
10.1 3D Systems Corporation	153
10.2 AAROFLEX Inc.	154
10.3 Arcam	154

10.4	BitsFromBytes (3D Systems)	155
10.5	Concept Laser GmbH (Hoffmann Innovation Group).....	155
10.6	Delta Micro Factory Corp. (PP3DP)	155
10.7	Dimension (Stratasys).....	156
10.8	DWS	156
10.9	EnvisionTEC	156
10.10	EOS.....	157
10.11	Evil Mad Scientist Laboratories	157
10.12	Ex One	157
10.13	Fab@Home	157
10.14	FIT (Fruth Innovative Technologien GmbH)	158
10.15	Fortus (Stratasys).....	158
10.16	Hewlett-Packard	159
10.17	Huntsman	159
10.18	MakerBot Industries	159
10.19	Materialise	160
10.20	Mcor Technologies	160
10.21	Objet Geometries Ltd.	161
10.22	OPTOMECH	161
10.23	Phenix Systems	161
10.24	POM (Precision Optical Manufacturing).....	162
10.25	ProMetal RCT (Ex One).....	162
10.26	ReaLizer	162
10.27	Renishaw GmbH.....	163
10.28	RepRapSource (GLI Concept GmbH).....	163
10.29	Sintermask GmbH	164
10.30	SLM Solutions GmbH	164
10.31	Solidica	164
10.32	Solidscape, Inc. (Stratasys).....	165
10.33	Stratasys, Inc.	165
10.34	Tiertime.....	166
10.35	Ultimaking Ltd.	166
10.36	Voxeljet Technology GmbH	166
10.37	ZCorporation	167
Glossar		169
Quellen		173
Literaturempfehlungen		177
Index		179
Die Autorin		183

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1	Beispiel für ein Volumenmodell, Quelle: Fasterpoly.....	8
Abb. 3.2	Facettenetze in unterschiedlicher Auflösung, Quelle: Fasterpoly.....	10
Abb. 3.3	Ein druckbares Modell muss eine eindeutige Innen- und Außenseite haben, Quelle: Fasterpoly.....	12
Abb. 3.4	STL-Datei mit Fehlern, Quelle: Fasterpoly.	12
Abb. 3.5	Mit der Reparatursoftware Netfabb reparierte Datei, Quelle: Fasterpoly.....	14
Abb. 3.6	Die Reparatursoftware Netfabb zeigt auch die Abmessungen der Modelle an, Quelle: Fasterpoly.....	14
Abb. 3.7	Hier das 3D-CAD-Modell, das als STL-Datei exportiert wurde, Quelle: Fasterpoly.....	15
Abb. 3.8	Slicing, Quelle: Fasterpoly.....	15
Abb. 3.9	Der 3D-Drucker druckt dünne Schichten, die in der Realität viel dünner sind als hier dargestellt, Quelle: Fasterpoly.....	15
Abb. 3.10	Das Schichtbau-Verfahren, Quelle: Fasterpoly.....	16
Abb. 3.11	Die roten „Inseln“ würden ohne Verbindung herunterfallen, Quelle: Fasterpoly.....	16
Abb. 3.12	Das Stützmaterial ist hier in Gelb eingezeichnet, Quelle: Fasterpoly.....	16
Abb. 3.13	Das fertige Objekt – das Stützmaterial (in Gelb eingezeichnet) muss noch entfernt werden, Quelle: Fasterpoly.....	17
Abb. 3.14	Das Modell ist komplett mit Stützmaterial (in Gelb eingezeichnet) gefüllt, Quelle: Fasterpoly.....	19
Abb. 3.15	Selbst wenn man das Modell zum Druck umdreht, wird teilweise noch Stützmaterial erforderlich, Quelle: Fasterpoly.....	19
Abb. 3.16	Das dreidimensionale Modell des Teufels, im CAD-Programm ViaCAD konstruiert, Quelle: Fasterpoly.....	20
Abb. 3.17	Mit diesem Kasten ermittelt das CAD-Programm ViaCAD das Hüllvolumen des Teufels, Quelle: Fasterpoly.....	20
Abb. 3.18	Die Teufel-Miniatur, auf einer Seite von weichem Stützmaterial umhüllt, Quelle: Fasterpoly.	21

Abb. 3.19	Der Teufel, mit handelsüblichen Modellbaufarben lackiert, Quelle: Fasterpoly.....	21
Abb. 3.20	Screenshot Blender, Quelle: Wikipedia – www.bigbuckbunny.org.....	24
Abb. 3.21	Recht schnell wurde der winkende Mensch mit DAZ Studio konstruiert und im PolyJet-Verfahren gedruckt, Quelle: Fasterpoly.....	25
Abb. 3.22	Screenshot eines mit dem 3D-Modellierer SculptMaster auf dem iPhone erzeugten Modells, Quelle: Fasterpoly.....	27
Abb. 4.1	Noch vor der Geburt können sich Eltern ein Abbild ihres Babys ausdrucken lassen, Quelle: Realityservice GmbH.....	31
Abb. 4.2	Das erwartete Kind mit Vorfriede als Anhänger immer dabei, Quelle: Realityservice GmbH.....	32
Abb. 4.3	3D-gedruckte bunte Eichhörnchen auf MakerBotTV, Quelle: MakerBot Industries.....	35
Abb. 4.4	In einem Stück gedruckt – Ketten ohne Schloss, Quelle: Fasterpoly.....	36
Abb. 4.5	Noch einmal die Ketten in der Nahansicht, Quelle: Fasterpoly.....	37
Abb. 4.6	Der in einem Stück gedruckte Klapphocker von Objet, Quelle: Objet Ltd.....	37
Abb. 4.7	Das 3D-gedruckte MakerBot-Maskottchen, Quelle: MakerBot Industries.....	41
Abb. 4.8	Adrian Bowyer (links) und der RepRap mit Nachbau, Quelle: RepRap.....	42
Abb. 4.9	Technische Zeichnung des RepRap “Mendel”, Quelle: Wikipedia.....	43
Abb. 4.10	Der RepRap „Darwin“, Version 1, Quelle: Wikipedia.....	45
Abb. 4.11	Der Origo-3D-Drucker, Quelle: Origo.....	47
Abb. 4.12	Der kleinste 3D-Drucker der Welt, Quelle: Klaus Stadlmann.....	48
Abb. 4.13	Der für die Öffentlichkeit zugängliche RepRap-3D-Drucker des FabLab in Düsseldorf, Quelle: FabLab Düsseldorf.....	50
Abb. 4.14	Gründungsteam des GarageLab, dem FabLab in Düsseldorf; von links nach rechts: Yvonne Firdaus, Thomas Dornscheidt, Kristin Parlow, Oliver Vaupel, Axel Ganz, Quelle: FabLab Düsseldorf.....	51
Abb. 5.1	Der Designer Joong Han Lee (Mitte), Quelle: Minseong Wang.....	58
Abb. 5.2	Projekt „Haptic Intelligentsia“ von Joong Han Lee, Design Academy Eindhoven, Quelle: Vincent van Gurp.....	59
Abb. 5.3	Der haptische 3D-Drucker bei der Arbeit, Quelle: Joong Han Lee.....	59
Abb. 5.4	Lamp Creepers, Designer Lionel K. Dean, Quelle: Future Factories.....	60
Abb. 5.5	Holy Ghost Chair, Designer Lionel K. Dean, Quelle: Future Factories.....	60
Abb. 5.6	Lex, Design: Peter Böckel, Quelle: coburg-designlab.....	62

Abb. 5.7	Knieprotektor ProteX, Design: Daniel Nikol, Quelle: coburg-designlab.....	62
Abb. 5.8	Robots, Design und Quelle: coburg-designlab.....	63
Abb. 5.9	Porzellanschale, Design und Quelle: coburg-designlab.....	63
Abb. 5.10	Tie Heal, Design: Moritz Zahn, Quelle: coburg-designlab.....	64
Abb. 5.11	VRZ1, Design: Ralf Holleis, Quelle: coburg-designlab.....	64
Abb. 5.12	VRZ1, Einzelteile, Design: Ralf Holleis, Quelle: coburg-designlab.....	64
Abb. 5.13	xy-climbing, Design: Ginette Kusuma, Quelle: coburg-designlab.....	66
Abb. 5.14	„aaltoilu“, Design: Vision 2.0/coburg, Quelle: coburg-designlab.....	66
Abb. 5.15	„aaltoilu“, Design: Vision 2.0/coburg, Quelle: coburg-designlab.....	66
Abb. 5.16	„aaltoilu“, Design: Vision 2.0/coburg, Quelle: coburg-designlab.....	66
Abb. 5.17	Cloudspeaker, Design: Johanna Spath & Johannes Tsopanides, Quelle: Johannes Tsopanides/SHAPES iN PLAY.....	68
Abb. 5.18	InfObjekte, Design: Johannes Tsopanides, Quelle: Johannes Tsopanides/SHAPES iN PLAY.....	69
Abb. 5.19	InfObjekte, Design: Johannes Tsopanides, Quelle: Johannes Tsopanides/SHAPES iN PLAY.....	69
Abb. 5.20	Soundplotter, Design: Johanna Spath & Johannes Tsopanides, Quelle: Johannes Tsopanides/SHAPES iN PLAY.....	70
Abb. 5.21	Im Multi-Jet-Modeling-Verfahren gefertigtes Ambulanzfahrzeug mit Größenvergleich, Quelle: Chris Imhof/N-Spur-Blaulicht.....	72
Abb. 5.22	Flugfeldlöschfahrzeug, im PolyJet-Verfahren gedruckt und nachträglich lackiert, Quelle: Chris Imhof, N-Spur-Blaulicht.....	72
Abb. 5.23	Flugfeldlöschfahrzeug, im PolyJet-Verfahren gedruckt, Einzelteile im Vordergrund unlackiert, Quelle: Chris Imhof, N-Spur-Blaulicht.....	72
Abb. 5.24	Hüpfburg, im Lasersinter-Verfahren hergestellt, Quelle: FASTERpoly.....	73
Abb. 5.25	Die gedruckte Hüpfburg, bunt lackiert und dekoriert, Quelle: FASTERpoly.....	73
Abb. 5.26	Im PolyJet-Verfahren gedruckte Weiche, ein Beispiel für Reverse Engineering, Quelle: von Flottwell.....	73
Abb. 5.27	Bei der Weiche wurden die Steine individuell bemalt, Quelle: von Flottwell.....	74
Abb. 5.28	Ein Stellpult, im PolyJet-Verfahren hergestellt, Quelle: FASTERpoly.....	74
Abb. 5.29	Ein im Digital-Light-Processing-Verfahren gedrucktes Aborthäuschen, Quelle: FASTERpoly.....	74
Abb. 5.30	Ersatzteile wie diese Kupplungshaken sind schnell selbst hergestellt und lackiert, Quelle: FASTERpoly.....	75

Abb. 5.31	Mit einer kostenlosen Software schnell selbst produziert: eine Figur für die Modellbahn, Quelle: FASTERPOLY.....	75
Abb. 5.32	CAD-Modell des Kettenanhangs in der Seitenansicht, Quelle: FASTERPOLY.....	78
Abb. 5.33	Traube als silberner Kettenanhang, Quelle: FASTERPOLY.....	78
Abb. 5.34	Traube in Messing als Weinflaschendekoration, Quelle: FASTERPOLY.....	78
Abb. 6.1	Eingescannte und im 3D-Druck-Verfahren hergestellte Bräute, Quelle: CLONE FACTORY.....	84
Abb. 6.2	Nahezu lebensecht wirken die Nachbildungen, Quelle: CLONE FACTORY.....	85
Abb. 6.3	Der 3D-Schokoladendrucker, Quelle: DR. LIANG HAO UND TEAM.....	86
Abb. 6.4	Gedrucktes Schokoladenherz, Quelle: DR. LIANG HAO UND TEAM.....	87
Abb. 6.5	Das Airbike von EADS, Quelle: EADS.....	92
Abb. 6.6	Die Drohne SULSA, Quelle: MARIO FERRARO/UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON.....	93
Abb. 6.7	Wissenschaftler Jerome Van Schaik mit Drohne SULSA, Quelle: MARIO FERRARO/UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON.....	94
Abb. 6.8	Der Spinnen-Roboter ArachNOphobia, Quelle: FRAUNHOFER IPA.....	95
Abb. 6.9	Der Spinnen-Roboter – ein Kind der Bionik, Quelle: FRAUNHOFER IPA.....	96
Abb. 6.10	Entwickler Jack Slivinski mit dem Hybrid-Auto „Urbee“, Quelle: KOR ECOLOGIC.....	98
Abb. 6.11	Probedrucke im Pulverdruckverfahren, Quelle: LOCAL MOTORS.....	99
Abb. 6.12	Probedrucke des Rally Fighter, Quelle: LOCAL MOTORS.....	99
Abb. 6.13	Probedrucke, Quelle: LOCAL MOTORS.....	99
Abb. 6.14	Beta-Version des Rally Fighter, Quelle: NYKO DE PEYER/LOCAL MOTORS.....	100
Abb. 6.15	Der Rally Fighter, Quelle: ERIC CASSEE/LOCAL MOTORS.....	100
Abb. 6.16	Dentalmodell, Quelle: EOS ELECTRO OPTICAL SYSTEMS.....	102
Abb. 6.17	Dentalmodell, Quelle: EOS ELECTRO OPTICAL SYSTEMS.....	102
Abb. 6.18	Implantat für Prothese, Quelle: WITHIN TECHNOLOGIES.....	106
Abb. 6.19	Prothesenkosmetik für Sportler, Quelle: BESPOKE INNOVATIONS.....	108
Abb. 6.20	Reifen, 3D-gedruckt aus Papier, Quelle: M-COR TECHNOLOGIES.....	111
Abb. 6.21	Ein bunter Sessel, dreidimensional aus Papier gedruckt, Quelle: M-COR TECHNOLOGIES.....	111
Abb. 6.22	Auch der Schädel wurde aus Papierschichten gedruckt, Quelle: M-COR TECHNOLOGIES.....	111
Abb. 6.23	Das umweltfreundliche Hybrid-Auto „Urbee“, Quelle: KOR ECOLOGIC.....	112
Abb. 9.1	Wax-ups, mit der Produktionsanlage ProJet DP3000 hergestellt, Quelle: 3D SYSTEMS.....	129
Abb. 9.2	Der V-Flash Desktop Modeler, Quelle: 3D SYSTEMS.....	130
Abb. 9.3	Der 3D-Drucker Cube, Quelle: 3D SYSTEMS.....	134

Abb. 9.4	„Atom“, fertig zusammengebaut und lackiert, Quelle: Objet Ltd.	136
Abb. 9.5	Teile von „Atom“, im Schnelldruck hergestellt, Quelle: Objet Ltd.	137
Abb. 9.6	Der gedruckte Rücken des Roboters, Quelle: Objet Ltd.	137
Abb. 9.7	Der Objet24-3D-Drucker, Quelle: Objet Ltd.	138
Abb. 9.8	Der Objet30-3D-Drucker, Quelle: Objet Ltd.	138
Abb. 9.9	Der 3D-Drucker 1200eSST, Quelle: Dimension.	141
Abb. 9.10	Im Wachsdruckverfahren hergestellte Ringe, Quelle: Solidscape.	143
Abb. 9.11	3D-CAD-Ansichten eines Rings auf dem Bildschirm, Quelle: Solidscape.	143
Abb. 9.12	Detailgenaue Objekte, Quelle: Solidscape.	144
Abb. 9.13	Die Druckköpfe in Bewegung, Quelle: Solidscape.	146
Abb. 9.14	Seitenansicht beim Druck, Quelle: Solidscape.	146
Abb. 9.15	Ansicht des Wachsdruckers von oben, Quelle: Solidscape.	147
Abb. 9.16	3D-Druckzyklus, Quelle: ZCorporation.	150

Zunächst einmal: Vielen Dank dafür, dass Sie sich für dieses Buch über 3D-Druck/Rapid Prototyping entschieden haben.

Eigene dreidimensionale Objekte entwerfen und sich diese schnell und preisgünstig in Kunststoff, Metall oder Keramik herstellen zu lassen – solche Möglichkeiten wären für Privatpersonen vor wenigen Jahren noch kaum vorstellbar gewesen. Inzwischen hat jeder, der in einem CAD-Programm ein Volumenmodell zeichnen kann, die Möglichkeit, sich bei einem der immer zahlreicher werdenden Dienstleister für 3D-Druck zu einem vertretbaren Preis seine selbst ersonnenen und entwickelten Objekte ausdrucken zu lassen.

3D-Druck ist eine moderne Technologie, welche lange Zeit überwiegend Firmen vorbehalten war, die aber mehr und mehr von Privatpersonen zur Verwirklichung ihrer kreativen Ideen genutzt wird.

Selbst die Maschinen, welche diese Objekte herstellen können, werden nicht nur erschwinglicher, sondern auch immer bürotauglicher und einfacher zu bedienen. Wer nicht gerade ein ganzes Fahrrad drucken möchte, kann inzwischen einen 3D-Drucker, der nicht viel mehr Platz einnimmt als ein gewöhnlicher Desktop-Printer, in seinem Büro oder sogar in seiner Wohnung betreiben.

Die Grundidee dieses Buchs ist es, Sie einerseits möglichst umfassend über diese spannende Zukunftstechnologie des 3D-Drucks/Rapid Prototyping zu informieren. Andererseits möchte ich Sie auch bei Ihren eigenen Bestrebungen, für sich selbst das richtige CAD-Programm oder das geeignetste Druckverfahren zu finden, mit Tipps und Hinweisen unterstützen und zum Ziel führen. Ich habe dabei versucht, eine möglichst ausgeglichene Balance zwischen Theorie und Praxis zu finden.

Zu Grunde gelegt habe ich dabei genau das, was ich selbst gern gewusst hätte, als ich begann, mich intensiv mit 3D-Druck zu beschäftigen. Das habe ich versucht, für Sie verständlich und strukturiert zusammenzufassen.

1.1 Themenauswahl

Es würde den Rahmen sprengen, in einem Buch alle Fragen, die 3D-Druck/Rapid Prototyping aufwerfen kann, alle Themen, welche die unterschiedlichsten Zielgruppen interessieren könnten, im Detail zu beantworten.

Ich konzentriere mich deshalb mit diesem Buch darauf, den Leserinnen und Lesern einen zusammenfassenden Überblick über das Verfahren zu verschaffen: über die Geschichte, die bisherige Entwicklung und das, was in der Zukunft von 3D-Druck/Rapid Prototyping zu erwarten ist.

Dabei zeige ich, welche Möglichkeiten es für Anwender – seien diese Studenten, Künstler oder Designer – gibt, selbst mit 3D-Druck zu arbeiten. Das beginnt mit Tipps zur Auswahl eines passenden CAD-Programms, geht über Hinweise zu 3D-Druck-Dienstleistern und deren Angebot – bis hin zu den verschiedenen Herstellungsverfahren und zur Auswahl eines eigenen 3D-Druckers.

Den Schwerpunkt habe ich in diesem Buch bewusst auf 3D-Druck gelegt. Die zahlreichen anderen Rapid-Prototyping-Verfahren, die es gibt, stelle ich ebenfalls kurz vor, aber ich gehe auf keines so ausführlich ein wie auf den 3D-Druck. Der Grund dafür ist, dass gerade 3D-Druck unter Privatpersonen eine immer größere Verbreitung und Anwendung findet.

Weil ich sicher bin, dass viele Leser sich aber auch dafür interessieren werden, wie inzwischen ganze Häuser „gedruckt“ werden können, möchte ich Ihnen natürlich die Kenntnis solcher Verfahren nicht vorenthalten. Darauf gehe ich aber weniger ausführlich ein.

Wenn Sie Anregungen haben, was als Thema außerdem wichtig sein könnte, was Sie noch interessiert und Ihnen hier fehlt – schreiben Sie mir das bitte gern an: Buch@fasterpoly.de.

Nur so kann ich es in der nächsten Auflage dieses Buchs berücksichtigen. Ergänzungen zu diesem Buch finden Sie auf www.fasterpoly.de

1.2 Aufbau des Buchs

Dieses Buch ist so aufgebaut, dass Sie Schritt für Schritt an das Thema 3D-Druck/Rapid Prototyping herangeführt werden. An vielen Beispielen versuche ich – auch mit Illustrationen – diese Zukunftstechnologie greifbar, anschaulich und für Leserinnen und Leser ohne umfassende Fachkenntnisse verständlich und anwendbar zu machen.

Zudem gebe ich einen kurzen Abriss über die Geschichte, zeige Entwicklungen und Trends in der Technologie auf und biete einen umfassenden Überblick über den gegenwärtigen Stand der Technik.

Je weiter Sie lesen, desto fachspezifischer wird der Text. Das gilt besonders für die verschiedenen Herstellungsverfahren, welche für Leser, die sich bisher nicht allzu intensiv mit Rapid Prototyping beschäftigt haben und sich erst etwas Allgemeinwissen dazu aneignen wollen, im Moment noch nicht so wichtig sind.

Im Anhang befindet sich eine Liste von Herstellern von Rapid-Prototyping-Maschinen in Deutschland sowie auch einiger im Ausland. Die habe ich der Vollständigkeit wegen hinzugefügt, weil ich oft gefragt werde, wie viele Hersteller es gibt und wo diese sich finden lassen.

An ausgewählten Beispielen vermittele ich Ihnen einen Eindruck davon, was unterschiedliche Rapid-Prototyping-Maschinen an Verfahren bieten. Ich erläutere

Ihnen, was Sie beachten sollten, wenn Sie beabsichtigen, für sich selbst oder Ihre Firma einen bürotauglichen 3D-Drucker zu kaufen.

Falls Sie ein einzelnes Thema nicht interessiert, können Sie das entsprechende Kapitel gern überspringen – und das nächste lesen, ohne das nicht Gelesene zwingend als Verständnisgrundlage zu benötigen.

1.3 Für wen ist dieses Buch?

Dieses Buch wendet sich an alle, die schon von 3D-Druck/Rapid Prototyping gehört haben und gern mehr darüber wissen möchten. Ich versuche, Leserinnen und Lesern, die bisher wenig über 3D-Druck wussten, aber sich vorstellen könnten, Spaß an dieser neuen Technologie zu entwickeln und selbst etwas zu konstruieren, zu zeigen, was jeder Einzelne, der sich ein wenig in die Technologie einarbeitet, umsetzen kann.

Wenn Sie schon dreidimensional konstruieren können, wird dieses Buch Ihre Kenntnisse sicherlich erweitern und Ihnen neue Denkanstöße vermitteln: zu vielem, was sonst noch mit 3D-Druck alles möglich ist und werden wird. Wer wo was macht und welche neuen Entwicklungen und Communities es im Bereich 3D-Druck gibt.

Vielleicht möchten Sie sich bloß einen theoretischen Einblick verschaffen zu einigen Fragen, wie zum Beispiel: Was ist 3D-Druck überhaupt? Wie funktioniert er? Wie hat er sich entwickelt? Was kann er gegenwärtig leisten? Wie wird er in Zukunft die Wirtschaft verändern?

Auch dann ist dieses Buch sehr für Sie geeignet und wird Ihnen sehr nützlich sein.

Viel wird detailliert beschrieben oder mit Hilfe von Illustrationen erklärt.

Dieses Buch vermittelt Wissen für technisch interessierte und versierte Laien – wie ich selbst einer war, bevor ich im September 2010 mein Unternehmen als 3D-Druck-Dienstleisterin gründete. Bewusst verfolge ich einen halb populärwissenschaftlichen Ansatz, um die Technologie einem großen Publikum bekannt zu machen. Es ist ein Grundlagenbuch und es soll Spaß machen, dieses Buch zu lesen.

Als weitergehende wissenschaftlichere und technisch fundierte Lektüre schlage ich Ihnen folgende zwei Werke vor:

Andreas Gebhard, *Generative Fertigungsverfahren: Rapid Prototyping – Rapid Tooling – Rapid Manufacturing* (Hanser-Verlag), ISBN: 978-3-446-22666-1
und

Michael F. Zäh, *Wirtschaftliche Fertigung mit Rapid-Technologien: Anwender-Leitfaden zur Auswahl geeigneter Verfahren* (Hanser-Verlag), ISBN-10: 3-446-22854-3, ISBN-13: 978-3-446-22854-2

Beide Bücher befassen sich über Rapid Prototyping hinaus auch mit Rapid Tooling und Rapid Manufacturing.

1.4 In diesem Buch verwendete Konventionen

Die folgenden drei Begriffe finden Sie auch im Glossar – ich möchte sie aber voranschicken und erläutern, bevor Sie das Buch lesen. Oftmals gelten sie als Synonyme. Ich verwende sie im Buch jedoch folgendermaßen:

- Modell: Beschreibung eines Objekts im Computer
- Daten: Struktur der Speicherung des Modells
- Bauteil/Objekt: fertiges Produkt

Zu den Begriffen:

Rapid Prototyping/3D-Druck: Rapid Prototyping ist der Oberbegriff für sehr viele Verfahren, die ich in diesem Buch auch einzeln aufführe und erläutere. 3D-Druck ist ein Rapid-Prototyping-Verfahren.

Ich verwende in diesem Buch in der Regel die Bezeichnung 3D-Druck, weil das im gegenwärtigen Sprachgebrauch der am häufigsten genutzte Begriff für das dreidimensionale Drucken ist. In Einzelfällen erwähne ich, wenn erforderlich, die bei einigen Beispielen genutzte spezielle Technologie, wie zum Beispiel Lasersintern oder Ähnliche.

Es scheint mir aber sinnvoll, nicht dauernd mit allzu vielen Begriffen abzuwechseln, weil es gerade für Anfänger schwierig und verwirrend ist, die zahlreichen vom Sinn her sehr ähnlichen Begriffe zu unterscheiden.

Immer öfter wird der Begriff „Rapid Prototyping“ durch den der „additiven Fertigung“ ersetzt. Das liegt vermutlich daran, dass es längst nicht mehr nur Prototypen sind, die mit dieser innovativen Technologie hergestellt werden. Meiner Ansicht nach kann man sich mit dem Begriff der „additiven Fertigung“ leichter eine Vorstellung von dem Verfahren machen. Weil sich „additive Fertigung“ gegen „Rapid Prototyping“ bisher nicht überall durchgesetzt hat, heißt es in diesem Buch vorerst weiterhin „Rapid Prototyping“.

Zunächst ein paar Worte zum modernen Prototypenbau: Als Rapid Prototyping wurden in den 1980er Jahren Fertigungsverfahren bekannt, mit denen CAD-Daten möglichst ohne manuelle Umwege oder teure Formen direkt und schnell in Werkstücke oder Muster umgesetzt werden können.

Diese Verfahren sind üblicherweise Urformverfahren, die das Objekt schichtweise aus formlosem oder formneutralem Material aufbauen. Dazu werden physikalische und/oder chemische Effekte genutzt. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der werkzeuglosen Fertigung.

Unter dem Oberbegriff Urformen werden nach der DIN 8580 alle Fertigungsverfahren zusammengefasst, bei denen aus einem formlosen Stoff ein fester Körper hergestellt wird.

Das Urformen wird genutzt, um die Erstform eines geometrisch bestimmten, festen Körpers herzustellen und den Stoffzusammenhalt zu schaffen. Bekannte Urformverfahren sind neben dem Rapid Prototyping der Metallguss, der Kunststoffspritzguss, das Gießen mit chemisch aushärtenden Harzen und das Sintern.

Im Gegensatz dazu stehen abtragende Verfahren, spanabhebend beispielsweise das Fräsen und Drehen oder verdampfend das Funkenerodieren. Bei diesen Verfahren wird zur Formgebung Material entfernt. Natürlich finden diese Herstellungsverfahren auch im Prototypenbau Anwendung. Sie sollen aber nicht Gegenstand dieses Buchs sein.

Kurz gesagt: Rapid Prototyping ist ein Fertigungsverfahren zur schnellen und preisbewussten Herstellung von Modellen, Mustern, Prototypen, Werkzeugen und Endprodukten auf der Grundlage von 3D-CAD-Modellen.

Es wird als generatives Fertigungsverfahren bezeichnet, was bedeutet, dass die Fertigung direkt auf der Basis der rechnerinternen Datenmodelle erfolgt. Da die Rapid-Prototyping-Verfahren ohne eine Gussform oder spezielle Werkzeuge auskommen, ist deshalb oft von einer werkzeuglosen Fertigung die Rede.

Der Grundgedanke beim Rapid Prototyping ist immer, dass durch den schichtweisen Aufbau von Bauteilen das Objekt durch die einzelnen Schichten generativ hergestellt wird. Schicht für Schicht verfestigt sich ein formloses Bau-Material durch Zufuhr von Energie – zum Beispiel durch einen Laserstrahl.

Die einzelnen Schichten werden so miteinander verbunden und formen nach und nach das fertige Objekt. Es gibt auch Verfahren, bei denen die einzelnen Schichten durch dünne Materialien, wie Papier, mit einem Klebstoff verbunden werden.

Zum Rapid Prototyping gehören folgende Verfahren:

- 3D-Druck mit Gipspulver
- Selektives Lasersintern (SLS)
- Selektives Laserschmelzen (SLM)
- Elektronenstrahlschmelzen (EBM)
- Fused Deposition Modeling (FDM)
- Laserauftragschweißen
- Multi-Jet Modeling (MJM)
- Stereolithographie (STL oder auch SLA)
- Film Transfer Imaging (FTI)
- Digital Light Processing (DLP)
- PolyJet
- Laminated Object Modeling (LOM)
- Polyamidguss
- Space Puzzle Molding (SPM)
- Contour Crafting (CC)

Sie finden im Kapitel „Rapid-Prototyping-Verfahren: eine Übersicht“ am Ende dieses Buchs alle verschiedenen hier aufgezählten Verfahren erläutert und deren Möglichkeiten mit ihren Vor- und Nachteilen kurz eingeschätzt.

Wenn Sie das Thema interessiert, lesen Sie bitte das Kapitel am Ende des Buchs. Für Rapid-Prototyping-Laien scheint mir diese Information sehr fachspezifisch, denn die meisten der Verfahren werden überwiegend in der Industrie für spezielle Anwendungen eingesetzt und sind noch nicht der breiten Anwendung zugänglich. Aus diesem Grund habe ich das Kapitel nicht an den Anfang des Buchs gestellt.

An dieser Stelle möchte ich noch einmal darauf hinweisen, dass ich in diesem Buch in der Regel die Bezeichnung 3D-Druck verwende, weil das im Umgang der am häufigsten genutzte Oberbegriff für das Rapid Prototyping ist. In Einzelfällen erwähne ich, wenn erforderlich, die bei einigen Beispielen genutzte spezielle Technologie, wie zum Beispiel Lasersintern.

In ihren Anfängen wurde die 3D-Druck-Technologie hauptsächlich in der Flugzeug-, der Konsumgüter- und der Automobilindustrie und im Maschinenbau eingesetzt. Wenn ein Baumuster entstanden, die Funktion oder Montage überprüft und es mit dem Kunden abgestimmt war, wurden die Bauteile zur Produktion freigegeben und mit herkömmlichen Methoden gefertigt.

Mittlerweile jedoch hat sich die 3D-Druck-Technologie so weit entwickelt, dass die Objekte komplett produziert und nicht mehr nachträglich montiert werden müssen. Da statt mit einer einzigen Gussform jedes Teil individuell hergestellt wird, kann beim 3D-Druck-Verfahren jedes CAD-Modell nach Anforderung oder automatisiert nach Kundenwunsch verändert werden.

So ist beispielsweise ein mit Namen individualisierter Schmuck ohne Handarbeit eines Goldschmieds zu produzieren. Dies ist möglich, ohne dass hohe zusätzliche Einmalkosten für jedes Stück entstehen. Diese Art von moderner Massenproduktion könnte Massenanfertigungen ermöglichen, die sich individuellen kundenspezifischen Anforderungen anpassen. Ob man sich personalisierten Schmuck, passgenaue Schuhe oder typgerechte Brillen auf diese Art individuell entwerfen lässt – den Möglichkeiten sind hier keine Grenzen gesetzt.