



TECHNIK IM FOKUS

DATEN FAKTEN HINTERGRÜNDE

Petra Fastermann

3D-Drucken

Wie die generative
Fertigungstechnik funktioniert



Springer Vieweg

Technik im Fokus

Technik im Fokus

Photovoltaik – Wie Sonne zu Strom wird

Wesselak, Viktor; Voswinckel, Sebastian, ISBN 978-3-642-24296-0

Komplexität – Warum die Bahn nie pünktlich ist

Dittes, Frank-Michael, ISBN 978-3-642-23976-2

Kernenergie – Eine Technik für die Zukunft?

Neles, Julia Mareike; Pistner, Christoph (Hrsg.), ISBN 978-3-642-24328-8

Energie – Die Zukunft wird erneuerbar

Schabbach, Thomas; Wesselak, Viktor, ISBN 978-3-642-24346-2

Werkstoffe – Unsichtbar, aber unverzichtbar

Weitze, Marc-Denis; Berger, Christina, ISBN 978-3-642-29540-9

Werkstoff Glas – Alter Werkstoff mit großer Zukunft

Schaeffer, Helmut; Langfeld, Roland, ISBN 978-3-642-37230-8

3D-Drucken – Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert

Fastermann, Petra, ISBN 978-3-642-40963-9

Weitere Bände zur Reihe finden Sie unter

<http://www.springer.com/series/8887>

Petra Fastermann

3D-Drucken

Wie die generative Fertigungstechnik
funktioniert



Springer Vieweg

Petra Fastermann
Fasterpoly GmbH
Krefeld, Deutschland

ISSN 2194-0770

ISBN 978-3-642-40963-9

ISBN 978-3-642-40964-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-40964-6

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 2014

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.

Einbandabbildung: InfObjekte, Johannes Tsopanides

Fotonachweis Umschlag: SHAPES iN PLAY, Berlin

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

Dieses Buch soll jedem, der schon einmal von 3D-Druck gehört hat, kurz und knapp eine Einführung in diese auch Privatpersonen immer zugänglichere Zukunftstechnologie geben. Es hat vor allem das Ziel, die Leserinnen und Leser dazu anzuregen, sich weiter mit 3D-Druck zu beschäftigen. Vorkenntnisse werden zum Verständnis nicht benötigt. Es reicht aus, wenn Sie sich für das Thema interessieren. Das Buch bietet umfassende Erklärungen der Technologie. Gleichzeitig soll es Denkanstöße und Ideen vermitteln.

Die Lektüre versetzt Sie in den Stand, die Grundlagen der Technik zu verstehen und – im Idealfall – 3D-Druck selbst praktisch anzuwenden. Als Privatperson sollen Sie sich dazu ermutigt fühlen, meinen Vorschlägen zu folgen und selbst eine kostenlose Software auszuprobieren oder möglicherweise sogar in einem FabLab einen 3D-Drucker zu nutzen. Schließlich gibt es auch noch Ratschläge dazu, wie Sie am besten vorgehen, wenn Sie einen 3D-Drucker erwerben möchten.

Was bedeutet 3D-Druck für den Einzelnen? Welche gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen – zum Beispiel in der Medizintechnik oder der Industrie – wird es durch diese Zukunftstechnologie geben? Diese Fragen möchte ich mit dem Buch beantworten. Zusätzlich soll es ein kompaktes Grundlagenwerk sein, das auch Tipps und Hinweise auf weiterführende Werke und Möglichkeiten gibt, die Sie sich über das Ihnen mit dem Buch vermittelte Basiswissen hinaus selbst erschließen können.

Dieses kleine Werk ist eine komprimierte Zusammenfassung eines sehr komplexen Themas: Anders als bei vielen nur auf Technik konzentrierten Büchern werden darin auch die gesellschaftlichen Einflüsse

des 3D-Drucks sowie Trends und Zukunftsperspektiven behandelt. Ich versuche, mit einem aktuellen Bezug einen Gesamtzusammenhang herzustellen.

Mein besonderer Dank gilt Edward von Flottwell, der mich mit seinem Rat und seiner konstruktiven Kritik bei diesem Buch unterstützt hat.

Vielen Dank an den Springer-Verlag, insbesondere an Frau Hestermann-Beyerle und Frau Kollmar-Thoni, für die außerordentlich gute Zusammenarbeit.

Krefeld-Uerdingen, im Herbst 2013

Petra Fastermann

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: 3D-Druck als neue industrielle Revolution?	1
1.1	Eine revolutionäre Technologie – oder nicht?	1
1.2	Was verbessert werden sollte	2
1.2.1	3D-Drucker für Privathaushalte sollten anwenderfreundlicher sein	2
1.2.2	Für die Industrie muss das 3D-Drucken schneller werden	3
1.3	Überwältigende Entwicklungen	4
	Literatur	6
2	Jeder kann Erfinder und Entwickler werden	7
2.1	Selbst Hersteller werden	7
3	Was ist 3D-Druck?	11
3.1	3D-Druck – was man als Anwender wissen muss	12
3.2	Eine Datei auf Druckbarkeit prüfen	15
3.3	Der 3D-Druckvorgang, erklärt am Beispiel des PolyJet-Verfahrens	17
3.3.1	Das 3D-Drucken	17
3.3.2	Stütz- oder Support-Material wird erforderlich	19
4	Rapid Prototyping oder 3D-Druck?	23
4.1	Es gibt Unterschiede	23
	Literatur	24

5	Welche 3D-Druck-Technologien gibt es und welche Technologie eignet sich wofür?	25
5.1	Die Technologien des 3D-Drucks im Überblick	25
5.1.1	3D-Drucken mit Pulver (3DP)	26
5.1.2	Selektives Lasersintern (SLS)	28
5.1.3	Selective Heat Sintering (SHS)	29
5.1.4	Selektives Laserschmelzen (SLM, Selective Laser Melting)	30
5.1.5	Elektronenstrahlschmelzen (EBM – Electron Beam Melting)	31
5.1.6	Fused Deposition Modeling (FDM, Schmelzschichtung)/ Fused Filament Fabrication (FFF)	31
5.1.7	Stick Deposition Molding (SDM)	33
5.1.8	Multi-Jet Modeling (MJM)	34
5.1.9	Stereolithografie (STL oder auch SLA)	35
5.1.10	Scan-LED-Verfahren (SLT) als Weiterentwicklung der klassischen Stereolithografie	36
5.1.11	Film Transfer Imaging (FTI)	37
5.1.12	Digital Light Processing (DLP)	37
5.1.13	PolyJet	38
5.1.14	Laminated Object Modeling (LOM) oder Folienlaminier-3D-Druck	39
5.1.15	Selective Deposition Lamination (SDL)	40
5.1.16	Contour Crafting (CC)	42
	Literatur	44
6	3D-CAD-Zeichensoftware und Umgang mit 3D-Druck-Daten	45
6.1	Blender	45
6.2	OpenSCAD	46
6.3	SketchUp 2013 von Trimble (früher Google SketchUp)	46
6.4	Autodesk 123D (Apps)	46

6.5	ViaCAD	47
6.6	Weitere Softwares	48
6.7	Softwares von 3D-Druck-Dienstleistern	48
	Literatur	49
7	Tauschplattformen: fertige Modelle bekommen oder seine eigenen feilbieten – ein paar Tipps dazu	51
7.1	Tauschplattformen im Internet	51
7.2	In seinem eigenen Shop etwas anbieten	52
7.3	Oder die 3D-gedruckten Objekte auf einer Tauschplattform vertreiben	52
7.4	Der Erfolg soll nicht ausbleiben	54
	Literatur	55
8	FabLabs – wie sich in offenen Werkstätten weitere Möglichkeiten erschließen	57
8.1	Demokratisierung der Produktion	57
8.2	Weltweit entstehen immer mehr FabLabs	59
	Literatur	59
9	Messen zu 3D-Druck und Maker Faires	61
9.1	EuroMold in Frankfurt am Main	61
9.2	Rapid.Tech in Erfurt	62
9.3	FabCon 3.D – ebenfalls in Erfurt	62
9.4	Maker Faire Hannover und MakeMunich	62
9.5	3D Print Show	63
9.6	3D Printing Event – Messe Eindhoven/Niederlande	64
	Literatur	64
10	3D-Druck-Dienstleister oder eigener 3D-Drucker – was spricht wofür?	65
10.1	Ein klares „Ja“ zum eigenen 3D-Drucker?	65
10.2	Oder doch nur „Vielleicht“?	66
10.3	Einige gute Gründe dafür, einen 3D-Druck-Dienstleister zu beauftragen	66
10.4	Wenn Sie einen 3D-Drucker kaufen möchten: Nehmen Sie sich genug Zeit dafür!	67

11	Open-Source-3D-Drucker oder Profi-Maschine?	69
11.1	Open-Source-3D-Drucker – vom Anfang bis zur Gegenwart	70
11.1.1	Zur Entstehungsgeschichte der Open-Source-3D-Drucker	70
11.1.2	Was sollten Sie beim Kauf eines Open-Source-3D-Druckers beachten?	71
11.2	Oder eignet sich für Sie ein Closed-Source-3D-Drucker oder sogar eine Profi-3D-Druck-Anlage?	73
	Literatur	75
12	3D-Scannen wird immer einfacher	77
12.1	Wie funktioniert 3D-Scannen?	77
12.2	Einsatz von 3D-Scannern in allen Bereichen – nicht nur in der Industrie	78
12.3	3D-Scannen – immer einfacher	79
12.4	Sich selbst dreidimensional scannen lassen	80
12.5	Das Smartphone als 3D-Scanner?	83
12.6	3D-Scannen in der Kunst – zwei Beispiele	86
12.6.1	3D-Scanner als „Detektiv“: Rubens oder van Dyck?	86
12.6.2	Van-Gogh-Museum scannt Meisterwerke für Replikate	87
12.7	Bald alles mit nur einem Gerät? 3D-Scannen, 3D-Drucken, 3D-Kopieren und 3D-Faxen? Multi- funktionsgeräte?	87
	Literatur	88
13	Produktpiraterie und Urheberrechte: die gegenwärtige Gesetzeslage	89
13.1	Produktpiraterie	89
13.2	Urheberrechte	90
13.2.1	Die Frage des Urheberrechts wird im Bereich 3D-Druck zunehmend Bedeutung einnehmen	90
13.2.2	Was lässt sich gegen Produktpiraterie unternehmen?	91
	Literatur	92

14	3D-Druck in der industriellen Anwendung	93
14.1	Möbel	93
14.2	Medizintechnik	96
14.2.1	Implantate drucken	96
14.2.2	Tissue Engineering als Grundlage für Bio-Printing	97
14.2.3	Bio-Printing mit embryonalen Stammzellen oder den eigenen Körperzellen	98
14.2.4	Künstliche Knochen aus Stammzellen herstellen	99
	Literatur	100
15	Nachhaltigkeit – 3D-Druck als umweltfreundliche Technologie?	103
15.1	Recyclerter Plastikmüll als Bau-Material	104
15.2	Ein langfristiges Ziel: Noch mehr biokompatible 3D-Druckmaterialien, idealerweise aus nachwachsenden Rohstoffen	108
15.3	Weniger Materialausschuss bei der Produktion, geringeres Gewicht des 3D-gedruckten Objekts als bei herkömmlicher Herstellung: Beispiel Luftfahrt	109
15.4	Die eigene Öko-Bilanz beim 3D-Drucken ermitteln	111
15.5	3D-gedrucktes Fleisch könnte Tiere und Ressourcen schonen	112
	Literatur	113
16	Chancen und Risiken der Technologie – Ausblick und Prognosen	115
16.1	Wie wird sich die 3D-Druck-Technologie weiterentwickeln?	115
16.2	Wird bald jeder Haushalt seinen eigenen 3D-Drucker haben?	116
16.3	3D-Druck – eine Technologie zum Nutzen oder zum Schaden der Menschheit?	116
16.4	3D-Druck: Auf jeden Fall ein Wachstumsmarkt	117
16.5	Was werden die nächsten großen Meilensteine im 3D-Druck sein?	118
16.5.1	Das 3D-Drucken zusammen mit Elektronik	118

16.5.2 Mit verschiedenen Bau-Materialien	
gleichzeitig drucken	119
16.5.3 Auf dem Mond drucken	120
Literatur	124
Kurzbiografie	127
Weiterführende Literatur/Internetlinks	129
Sachverzeichnis	131

Einleitung: 3D-Druck als neue industrielle Revolution?

1

1.1 Eine revolutionäre Technologie – oder nicht?

Enthusiastisch wird 3D-Druck in den Medien als Teil einer neuen industriellen Revolution beschrieben. Gern wird diese Zukunftstechnologie mit der industriellen Revolution des ausgehenden 18. Jahrhunderts verglichen, bei welcher sich Wirtschaft und Gesellschaft durch die Möglichkeit der Massenproduktion von Produkten grundlegend veränderten. 3D-Druck könnte dazu beitragen, eine neue industrielle Revolution einzuleiten: Dadurch, dass die Massenproduktion individualisiert wird.

Das Wort von der „Revolution“ im Zusammenhang mit 3D-Druck ist inzwischen überall zu lesen. Viele, insbesondere auch Wissenschaftler, halten das für übertrieben. Manchmal wird mittlerweile die „Revolution“ in Frage gestellt und eher verhalten von einer „Evolution“ gesprochen [1].

Handelt es sich bei 3D-Druck um eine revolutionäre Technologie oder ist die Bezeichnung zu viel Ehre für etwas, das möglicherweise nicht mehr als eine technische Weiterentwicklung ist? „Revolution“ ist sicher ein Schlagwort, aber wer ein prägnantes Schlagwort nutzen möchte, beschreibt 3D-Druck meiner Einschätzung nach damit zutreffender als mit der Bezeichnung „Evolution“.

Das Revolutionäre an der Zukunftstechnologie 3D-Druck ist zunächst einmal, dass sie es jedem Einzelnen ermöglicht, sowohl Entwickler als auch zugleich Produzent zu werden. Wer eine Idee hat, kann diese unmittelbar in ein gedrucktes Objekt umsetzen. 3D-Druck-Dienstleister oder kleine, einfache, aber erschwingliche 3D-Drucker für den Hausgebrauch machen das möglich. Einige Experten rechnen sogar damit, dass 3D-

Druck den Welthandel und die Wirtschaftskreisläufe verändern könnte: Dadurch, dass Konsumenten Produkte mittels 3D-Druck selbst herstellen, würden Produktionsprozesse in ihre jeweiligen Verbrauchsländer zurückkehren.

Ähnlich den Computern in den späten siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts ist 3D-Druck bisher nicht Mainstream. Während aber die Technologie stetig besser wird und gleichzeitig die Kosten dafür immer geringer, wird es für Privatpersonen zunehmend realistischer und attraktiver, sich einen eigenen 3D-Drucker zu kaufen. Der Preis für einen einfachen 3D-Drucker ist, gemessen an der Kaufkraft, mittlerweile erheblich geringer als der für einen Laser-Drucker im Jahr 1985.

Anfang 2013 prognostizierte das US-amerikanische Unternehmen Gartner, das sich auf Marktforschung und Analyse in der weltweiten Technologie-Industrie spezialisiert: Schon 2016 sollen unternehmens-taugliche 3D-Drucker für weniger als 2000 USD erhältlich sein. So werde ein 3D-Drucker kostengünstiger als ein PC [2].

Laut dem US-amerikanischen Wirtschaftsmagazin FORBES nimmt 3D Systems, ein führendes Herstellungsunternehmen von 3D-Druck-Anlagen, im Jahr 2013 unter den 100 am schnellsten wachsenden Unternehmen der USA bereits Platz 5 ein [3]. Damit wird sehr deutlich, dass 3D-Druck eine Wachstumsbranche ist.

Eines ist jetzt schon sicher: Wer heute geboren wird, wird mit der Technologie des 3D-Drucks als Selbstverständlichkeit aufwachsen. Genauso, wie vermutlich der überwiegende Teil der Leserinnen und Leser dieses Buchs mit Computern als Selbstverständlichkeit groß geworden ist.

1.2 Was verbessert werden sollte

1.2.1 3D-Drucker für Privathaushalte sollten anwenderfreundlicher sein

Das eine der beiden Dinge, die meiner Einschätzung nach stark verbessert werden müssen: Die für Privatanwender gedachten 3D-Drucker sollten anwenderfreundlicher werden, um für mehr Personen nutzbar zu sein. Die Qualität der Objekte, die aus den preiswerten Maschinen kom-

men, muss ebenfalls weiter optimiert werden. Die Anwendung darf kein aufwendiges Tüfteln und Basteln mehr erfordern, um den 3D-Drucker in den Stand zu versetzen, Bauteile von hoher Qualität zu erzeugen. Die Weiterentwicklung in diesem Bereich ist rasant. Dadurch, dass im Jahr 2014 Patente für das Lasersinter-Verfahren auslaufen, wird sie noch schneller vorangetrieben werden. Das Lasersinter-Verfahren ist eine 3D-Druck-Technologie, die es ermöglicht, Objekte in hoher Qualität herzustellen, aber bisher wegen des Patentschutzes überwiegend professionellen Industrie-Anlagen vorbehalten war. Es wird damit gerechnet, dass gerade für Privatanwender deshalb in Kürze noch mehr erschwingliche 3D-Drucker auf den Markt gebracht werden, welche Ergebnisse von erheblich höherer Qualität als zuvor erzeugen. Hinzu kommt, dass mit dem Lasersinter-Verfahren sehr häufig nicht nur Prototypen, sondern Endprodukte hergestellt werden. Der Grund dafür ist, dass diese Technologie es ermöglicht, nicht nur mit Kunststoffen, sondern auch mit Keramik und Metall zu drucken. Die gegenwärtigen 3D-Drucker, die für Privatanwender im Handel sind, drucken überwiegend mit Kunststoffen. Wünschenswert wäre es sicher für viele Privatanwender auch, wenn es einfacher würde, mehrfarbig zu drucken.

1.2.2 Für die Industrie muss das 3D-Drucken schneller werden

Das zweite, was sehr verbesserungswürdig ist: Für die Industrie ist von Bedeutung, dass langfristig die 3D-Druck-Anlagen erheblich schneller drucken können. Der sehr langsame Aufbau von Bauteilen verhindert derzeit noch, dass die Technologie sich für die Massenproduktion eignet. Zudem sind die Bauräume vieler 3D-Druck-Anlagen zu klein, um größere Objekte damit in einem Stück herzustellen. Endlosdrucker mit sehr großen Bauräumen wie der von der Firma Voxeljet entwickelte Endlos-3D-Drucker VXC800 müssten Standard werden: Dieser Endlosdrucker – in Abb. 1.1 dargestellt – baut und entpackt parallel.

Weil sein ungenutztes Partikelmaterial unmittelbar aus dem Entpackbereich in die Bauzone zurückgeführt wird, bleiben die Betriebskosten gering. Für die Industrie wäre es ein großer Durchbruch, wenn die 3D-Drucker kontinuierlich arbeiten könnten und der Workflow nicht



Abb. 1.1 Der Endlos-3D-Drucker VXC800 druckt und entpackt parallel (Voxeljet)

durch Entladevorgänge unterbrochen würde. Außerdem müssten die Bau-Materialien billiger werden. Bei geringen Stückzahlen – seien dies Implantate, Prothesen oder auch im Handel nicht mehr erhältliche Ersatzteile – ist 3D-Druck jedoch schon jetzt von keiner anderen Technologie mehr zu übertreffen.

1.3 Überwältigende Entwicklungen

Bahnbrechende Entwicklungen sind auf nahezu allen Gebieten zu erwarten und werden teilweise schon praktisch verwirklicht. Aus der Medizintechnik ist 3D-Druck heute nicht mehr wegzudenken – ganz gleich, ob es sich um Zahnersatz, Hörgeräte oder Gelenk-Implantate handelt. Zukunftsvisionen sind, dass eines Tages funktionstüchtige, dem Menschen implantierbare Organe 3D-gedruckt werden können. Auch in der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie, der Architektur und der

Elektrotechnik ist 3D-Druck inzwischen unverzichtbar. Mit sehr großen 3D-Druckern lassen sich bereits jetzt in kürzester Zeit ganze Gebäude errichten. Die Raumfahrtorganisationen NASA und ESA planen, auf dem Mond dreidimensional zu drucken. Die Möglichkeiten, die 3D-Druck in den nächsten Jahren bieten wird, sind ebenso außerordentlich wie vielfältig. Ihr Ausmaß und ihr Einfluss werden rapide zunehmen.

Der nächste große Schritt wird sein, serienmäßig 3D-Druck mit Elektronik zu kombinieren. Das bedeutet, dass elektronische Schaltungen auf verschiedenste Materialien aufgedruckt werden könnten. Individualisierte Handys könnten damit zukünftig komplett aus dem 3D-Drucker kommen. Die Produktion würde dadurch zusätzlich beschleunigt, dass für die Herstellung des gesamten Produkts weniger Arbeitsschritte als jetzt notwendig wären.

Aus dem Bereich der Medizintechnik kommen nahezu wöchentlich neue Erfolgsmeldungen zu 3D-Druck. Wissenschaftliche Teams experimentieren mit dem 3D-Druck mit Stammzellen. Nicht allein ermöglicht dies die Herstellung von menschlichem Gewebe, an welchem neue Arzneimittel für den Menschen getestet werden können. In der Zukunft soll es möglich werden, mit dieser Technologie 3D-gedruckte Organe herzustellen, die in den menschlichen Körper implantierbar wären. Es ist gegenwärtig nahezu unvorstellbar, dass eines Tages niemand mehr auf eine Organspende warten müsste [4].

Ende der sechziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts landete zum ersten Mal ein Mensch auf dem Mond. Bald soll auf dem Mond 3D-gedruckt werden. Muss auf dem Mond 3D-gedruckt werden? Diese Frage wird sich jeder Leser und jede Leserin selbst beantworten. Aber wenn nicht das sich in Planung befindende, mit ersten Versuchen als möglich bestätigte 3D-Drucken auf dem Mond revolutionär ist: Was muss eine Technologie dann noch leisten können, um als Teil einer industriellen Revolution zu gelten?

Dieses Buch soll Ihnen einen Einblick dazu vermitteln, wie 3D-Druck funktioniert und welche verschiedenen Technologien es gibt, die unter dem Begriff zusammengefasst werden. Ich zeige Ihnen auf, was mit dieser Zukunftstechnologie jetzt bereits möglich ist und gebe einen Ausblick darauf, was Sie noch erwarten können. Vor allem aber soll das Buch Ihnen zeigen, wie diese Technologie Ihnen nützen kann – als Privatperson und möglicherweise sogar bald als Anwender.

Literatur

1. www.handelsblatt.com/technologie/it-tk/it-internet/3d-druck-die-revolution-wird-abgeblasen/7817508.html
2. www.networkworld.com/news/2013/032713-gartner-3d-printers-268162.html
3. www.money.cnn.com/magazines/fortune/fastest-growing/index.html
4. Petra Fastermann: Die Fabrik im Wohnzimmer. Sächsische Zeitung, S. 5 (26. Juli 2013)

Zusammenfassung

Mit früher nicht gegebenen Möglichkeiten ausgestattet, könnten Einzelpersonen mit guten Ideen in der Zukunft sogar großen Unternehmen zur ernsthaften Konkurrenz werden. Jeder kann den Zeitpunkt, zu welchem er sein 3D-gedrucktes Produkt anbietet, die Qualität sowie den Preis selbst bestimmen. Das wird durch die Vernetzung im Internet, Online-Plattformen und soziale Netzwerke immer einfacher. Open Source, Crowdsourcing, Crowdfunding – das heißt alles, was zum Machen, Produzieren, Austauschen und Verkaufen nützlich ist – tragen dazu bei, dass Individuen als Erfinder und zugleich Hersteller erfolgreich werden können.

2.1 Selbst Hersteller werden

Schon jetzt haben Sie, wenn Sie ein 3D-CAD-Modell erstellen oder im Internet erwerben, die Möglichkeit, selbst Objekte zu produzieren. Das bedeutet, dass Sie Erfinder, Entwickler und schließlich sogar Hersteller werden können. Vom Erfinder zum Unternehmer ist es mit 3D-Druck oft nur noch ein kleiner Schritt.

Die 3D-Druck-Technologie verringert einstige Hindernisse für die Herstellung und fördert gleichzeitig Innovationen. Wenn Sie ein Modell auf Ihrem Computer entwickeln, können Sie daraus ein Objekt fertigen lassen, ganz ohne auf herkömmliche Produktionsverfahren angewiesen zu sein. Jeder hat die Möglichkeit, sich seine Prototypen ausdrucken zu lassen und anschließend zu prüfen, ob es einen Markt für das Produkt

gibt. Falls erforderlich, können die Prototypen verbessert und erneut ausgedruckt werden. Wenn ein Fehler in der Konstruktion frühzeitig erkannt wird, verursacht er keine hohen Kosten. Private Erfinder, welche die Funktionsfähigkeit ihrer Erfindung überprüfen möchten, sind nicht mehr gezwungen, große Investitionen zu tätigen.

Neue Produkte herzustellen ist mit 3D-Druck sowohl preiswerter als auch risikofreier geworden – verglichen mit vielen herkömmlichen Herstellungsmethoden. Das kann insbesondere Start-ups und Investoren zu zuvor nicht gekannten Möglichkeiten verhelfen und ihnen gleichzeitig den Markteintritt stark erleichtern.

Bei der Produktentwicklung ermöglicht die 3D-Druck-Technologie im Vergleich zu früheren Fertigungstechniken einen sehr großen Zeitgewinn. Ein Produkt kann mit 3D-Druck viel schneller als vor einigen Jahren auf den Markt gebracht werden. Den Nutzern der Technologie verschafft dies Wettbewerbsvorteile.

Entwickler und Designer erhalten durch 3D-Druck ohne hohe Kosten die Möglichkeit, Kunden die unterschiedlichsten Entwürfe vorzustellen. Nicht unerwähnt bleiben darf die durch 3D-Druck preiswert gewordene Herstellung von Nullserien, die es ermöglicht, den Markt zu analysieren. Oder auch von Kleinserien als Endprodukt. So zum Beispiel nimmt die Produktion von Kleinserien im Modellbau-Bereich stetig zu. 3D-gedruckte Objekte, die direkt als Endprodukte verkauft werden, finden ständig größere Verbreitung. Das US-amerikanische Beratungsunternehmen Wohlers Associates ging 2012 davon aus, dass bis zum Jahr 2020 mehr als 80 % der mit 3D-Druckern produzierten Objekte nicht mehr Prototypen, sondern Endprodukte sein werden.

Schließlich kann jeder, der Lust dazu hat, sein eigenes Modell konstruieren und sich dreidimensional ausdrucken lassen. Wer eine Idee hat, benötigt kaum handwerkliche Fähigkeiten, um seinen Einfall umzusetzen. So wird bald die selbst designte Handyhülle, der individuelle Schmuck oder das außergewöhnliche Modellauto alltäglich sein. Ein ständig stärker werdender Wettbewerb unter den 3D-Druck-Dienstleistern schafft für Privatkunden ein fast monatlich attraktiver werdendes Angebot: Zu sinkenden Preisen wird in allen möglichen Verfahren in immer besser werdender Druck-Qualität produziert. Gleichzeitig wächst die Auswahl an 3D-Druck-Materialien, die Dienstleister-Plattformen werden zunehmend anwenderfreundli-

cher und die Lieferzeiten der 3D-Druck-Dienstleister kontinuierlich kürzer.

Neben den zahlreichen 3D-Druck-Dienstleistern tragen kostenlose und intuitiv bedienbare 3D-CAD-Programme dazu bei, dass der Weg von der Idee zum individuellen 3D-gedruckten Produkt erleichtert wird. Der Spaßfaktor in Foren, Tauschbörsen, Online Communities und auf Plattformen beschleunigt zusätzlich die Verbreitung von 3D-Druck unter Privatpersonen.

Wie Sie sehr einfach und ohne hohen Kostenaufwand Ihre eigenen 3D-gedruckten Produkte in einem Shop anbieten können, erläutere ich in einem späteren Kapitel. Zuvor aber möchte ich Ihnen erklären, wie 3D-Druck funktioniert und wie Sie selbst Modelle erzeugen.

Zusammenfassung

3D-Druck ist ein Fertigungsverfahren zur schnellen und – im Verhältnis zu vielen anderen Verfahren – preisgünstigen Herstellung von Modellen, Mustern, Prototypen, Werkzeugen und Endprodukten. Grundlage für den Druck sind 3D-CAD-Modelle. 3D-Druck wird als *generatives Fertigungsverfahren* bezeichnet. Das bedeutet, dass die Fertigung direkt auf der Basis der rechnerinternen Datenmodelle erfolgt. Oft ist auch von *Rapid Prototyping* oder *Additive Manufacturing* die Rede, wenn es um 3D-Druck geht. Viele Herstellungsverfahren, beispielsweise das Fräsen, entfernen Material beim Bau des Objekts. Sie sind deshalb *subtraktive Herstellungsverfahren*. Beim 3D-Druck wird nicht aus dem Material entfernt, was nicht zum Bauteil gehört. Genau umgekehrt wird das Stück aus vorher flüssigem oder pulverartigem Material im Schichtbauverfahren aufgebaut. Damit ist 3D-Druck ein *additives Herstellungsverfahren*. Daher erklärt sich auch die oft verwendete englische Bezeichnung *Additive Manufacturing* – *Additive Fertigung* – für die Technologie: Beim 3D-Druck wird additiv hergestellt. Das heißt, Schicht für Schicht wird Material zu einem Objekt aufgebaut. In diesem Kapitel wird an einem Beispiel das Verfahren erläutert, wie ein 3D-Bauteil entsteht – und was dabei zu beachten ist, damit es in optimaler Qualität gedruckt wird.

3.1 3D-Druck – was man als Anwender wissen muss

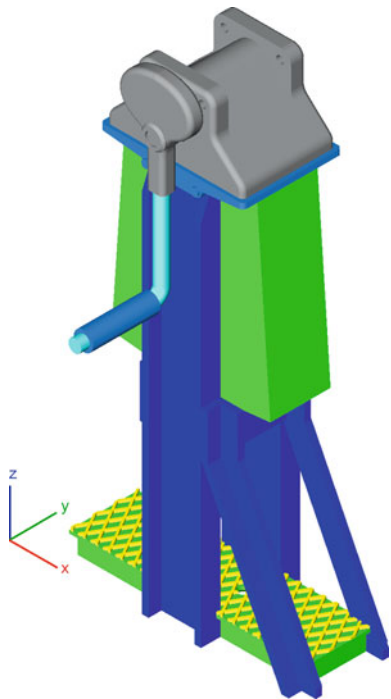
Unter 3D-Druck werden mittlerweile sehr viele unterschiedliche Herstellungstechnologien zusammengefasst – sei dies *Lasersintern* oder *Stereolithografie*. In Kap. 5 werden die verschiedenen Technologien mit den dazugehörigen Materialien detailliert vorgestellt. Das Grundprinzip bei diesen Fertigungsverfahren ist immer gleich: Es wird in Schichten aufgebaut. Dadurch sind nahezu beliebige Formen möglich. Hinterscheidungen oder Ausformbarkeit wie beim Resin- oder Spritzguss müssen bei der Konstruktion nicht berücksichtigt werden. Die Materialien, aus denen der Baukörper aufgebaut wird, können sehr unterschiedlich sein. Neben Kunststoffen sind auch Metalle oder Papier möglich. Allen Verfahren ist gemeinsam, dass die Schichten entweder durch Verkleben oder Verschweißen auf die vorhergehende Schicht aufgebracht werden. Bei vielen Technologien wird überschüssiges Baumaterial wiederverwendet.

Basis für einen 3D-Druck ist eine 3D-CAD-Datei. Nicht zuletzt wird die Technologie auch deshalb als *Digital Fabrication* bezeichnet, weil das Modell digital vorliegen muss. Dieses kann entweder eine Konstruktion sein, die mit Hilfe eines 3D-Design-Programms gezeichnet wurde, oder ein 3D-Scan. In Abb. 3.1 sehen Sie ein Beispiel für eine 3D-CAD-Konstruktion.

Wichtig ist, dass es sich um ein *3D-CAD-Volumenmodell* handelt, bei welchem sowohl Höhe als auch Tiefe und Breite definiert sind. Eine reine Linienzeichnung oder ein Foto reichen nicht aus. Bevor Sie drucken, sollten Sie darauf achten, dass das Modell eine geschlossene Hülle hat und damit ein *wasserdichtes Modell* ist. Sinnvoll ist es außerdem, eine gewisse Mindestdicke für die Wände einzuhalten, damit das gedruckte Objekt sich nicht so leicht verbiegt. Die Mindestdicke ist von der Größe des Modells abhängig. Aber mit einem Richtwert von einem Millimeter für die Wandstärke liegen Sie in der Regel richtig.

► **Definition: Volumenmodell – wasserdichtes Modell** Es kommt vor, dass 3D-Modelle im Internet erworben werden – und erst beim 3D-Druck-Dienstleister stellt sich zum Ärger ihrer Käufer heraus, dass diese sich nicht als Bauteile drucken lassen. Der Grund kann darin liegen, dass sie nur aus Hüllen bestehen, aber keine Volumenmodelle sind. Natürlich

Abb. 3.1 Beispiel für ein 3D-CAD-Volumenmodell (Fasterpoly)



hat auch jedes Volumenmodell eine Hülle. Jedoch ist die Hülle eines Volumenmodells geschlossen und hat keine Löcher. Stellen Sie sich am einfachsten eine Hülle, die kein Volumenmodell ist, so vor: Das wäre wie ein gewöhnlicher Pullover – mit Löchern für den Hals, die Hüfte und die Arme. Dieser offene Pullover ließe sich auch nicht mit Wasser füllen. Das Prinzip müssen Sie jetzt auf einen 3D-Drucker übertragen: Er füllt die Hülle mit Druckmaterial. Deshalb wird beim 3D-Druck von einem „wasserdichten Modell“ gesprochen. Ganz gleichgültig, wie Sie das gefüllte Modell drehen: Es darf nichts auslaufen. Übrigens reichen solche Modelle, die nur aus Hüllen bestehen, aber kein Volumen haben, als animierte Figuren für Filme oder Computerspiele vollkommen aus. Wenn Sie dreidimensional drucken möchten, sind Volumenmodelle jedoch eine Grundvoraussetzung.

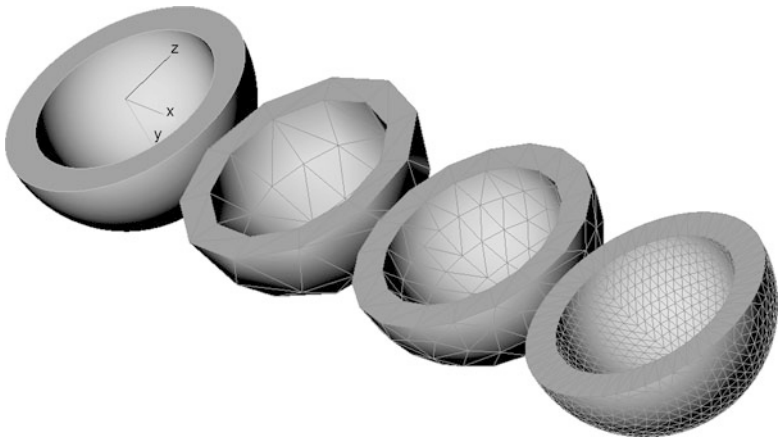


Abb. 3.2 Die STL-Datei wird in Dreiecksflächen zerlegt – das kann in unterschiedlichster Auflösung sein (Fasterpoly)

Um 3D-drucken zu können, muss die Datei – egal ob 3D-Zeichnung oder 3D-Scan – in ein Netz aus Dreiecksflächen umgewandelt und als STL-Datei exportiert werden. Mit dem STL-Format liegen Sie immer richtig, weil es als Format das gängigste ist, das Ihnen jeder Dienstleister ausdrucken kann. Außerdem gibt es für das STL-Format kostenlose Reparaturprogramme. Aber dazu später mehr. Je feiner das Netz aus Dreiecksflächen ist, desto genauer ist die Beschreibung der Datei und desto höher ist die Auflösung – und schließlich die Qualität beim Druck. Allerdings: Je mehr Dreiecksflächen verwendet werden, desto größer wird auch die Datei. Abbildung 3.2 zeigt, wie die Oberflächen der Modelle in unterschiedlicher Auflösung in kleine Dreiecke zerlegt sind.

- **Wichtig** Neben dem STL-Exportformat gibt es noch zahlreiche andere Formate, in die Sie aus dem CAD-Programm exportieren können. So sind IGES und STEP in der Industrie sehr weit verbreitet. IGES und STEP ermöglichen es, beliebig gekrümmte Oberflächen in jeder Skalierung gleich gut darzustellen. Dazu werden die Oberflächen mit mathematischen Funktionen, zum

Beispiel Splines, beschrieben. So werden selbst bei starker Vergrößerung keine Unstetigkeiten sichtbar. Weitere Export-Formate sind zum Beispiel OBJ, DXF, DWG, WRL und VRML.

3.2 Eine Datei auf Druckbarkeit prüfen

Wenn Sie jetzt das Objekt in das STL-Format exportiert haben, sind Sie bereits einen großen Schritt weiter. Trotzdem sollten Sie mit einer Reparatursoftware noch einmal überprüfen, ob Ihr Modell druckbar ist. Wasserdicht muss es sein – das wissen Sie schon. Was aber kann noch dazu beitragen, dass eine Datei sich nicht drucken lässt?

Es ist möglich, dass eine an sich ordentlich aussehende 3D-Datei, die Sie selbst erzeugt haben, sich plötzlich als nicht druckbar oder nur sehr fehlerhaft druckbar herausstellt. Das liegt daran, dass durch den Export in eine STL-Datei aus den verschiedenen 3D-CAD-Programmen Fehler entstehen können. Manchmal lässt sich als Ursache eine mangelhafte Exportschnittstelle der benutzten CAD-Software identifizieren. Es lässt sich aber auch nicht ausschließen, dass das ursprüngliche Modell schon Fehler hatte, die sich erst beim Export der Datei zeigen.

Gelegentlich kann es beim Export aus einem CAD-Programm in das STL-Format geschehen, dass versehentlich in Zoll statt in Millimetern exportiert wird. So ist das Modell am Ende viel kleiner, als es eigentlich sein sollte. Häufig werden solche Fehler beim Exportieren zunächst nicht bemerkt. Eine Kontrolle der Außenabmessungen in einer Reparatursoftware deckt solche Fehler auf.

Außerdem müssen die 3D-Modelle vor dem Druck in Normalenvektoren eingeteilt werden. Ein Normalenvektor dient dazu, zu ermitteln, welche Seite der Fläche nach innen bzw. nach außen zeigt. Eine falsch orientierte Fläche kann man sich wie ein auf links gedrehtes Kleidungsstück vorstellen. Falsch orientierte Normalen können der Grund dafür sein, dass ein Modell sich nicht drucken lässt, da die Drucksoftware nicht entscheiden kann, wo innen und außen ist.

Um Modelle auf ihre 3D-Druckbarkeit überprüfen zu können, wird deshalb Reparatursoftware benötigt. Es gibt kostenlose und kostenpflichtige. Ich möchte hier netfabb vorstellen, weil ich die Software selbst benutze. Es gibt von netfabb eine kostenlose und mehrere kostenpflich-

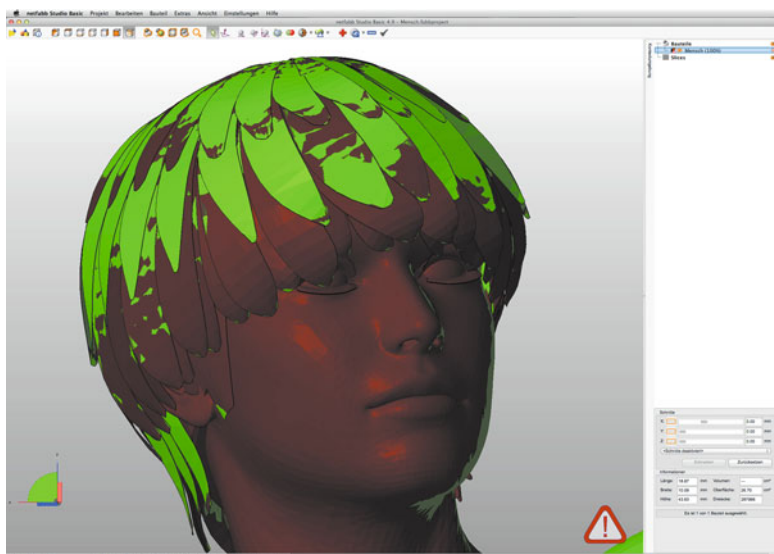


Abb. 3.3 Mit der Reparatursoftware netfabb Studio Basic lassen sich schnell Fehler in der Datei ermitteln und beheben (Fasterpoly)

tige Varianten. Die kostenlose Version netfabb Studio Basic ist schon sehr hilfreich und lässt sich im Internet herunterladen. Mit der Software können Sie Ihre STL-Dateien auf Druckbarkeit überprüfen. Das Prüfprogramm ist sehr intuitiv und kann – unter anderem – wasserdichte Objekte erzeugen sowie defekte Oberflächenvernetzungen reparieren. Der Nachteil: Mit der Kostenlos-Variante lassen sich zwar einige Formate importieren, aber möglicherweise fehlt gerade das eine, das Sie benötigen. Neben STL ermöglicht netfabb Studio Basic den Import der Formate X3D, WRL, GTS, CLI, SLI, SLC, SSL, CLS und G-Code. Wer sich entscheidet, professionell mit CAD-Design zu arbeiten, erwirbt nach einiger Zeit vielleicht doch eine professionelle Variante. Im Beispiel in Abb. 3.3 zeigt die Reparatursoftware mit dem Achtungssymbol an, dass die Datei fehlerhaft ist. Das Gesicht und ein Teil der Haare sind falsch orientiert. Das bedeutet, dass die Innen- und die Außenseite der Dreiecke vertauscht sind. Mit der Reparaturfunktion von netfabb

Studio Basic lassen sich solche Fehler meist mit wenigen Mausklicks beheben.

Falls Ihre Datei sofort druckbar ist oder Sie diese repariert haben, können Sie sie entweder auf dem eigenen 3D-Drucker ausdrucken oder zum 3D-Druck-Dienstleister schicken. Übrigens empfiehlt es sich immer, die „schöne“ Seite eines Modells mit der Ausrichtung nach oben zu drucken. Das gilt für fast alle Druckverfahren, wenn Sie das optimale Ergebnis erzielen wollen.

- **Wichtig** Über den Link zum weltweiten Wiki zu netfabb erfahren Sie einiges Nützliches und Wissenswertes über die Reparatursoftware: www.wiki.netfabb.com/Main_Page

3.3 Der 3D-Druckvorgang, erklärt am Beispiel des PolyJet-Verfahrens

3.3.1 Das 3D-Drucken

Es gibt die verschiedensten 3D-Druck-Verfahren, denen wegen ihrer großen Menge mit Kap. 5 ein eigenes und ausführliches Kapitel folgen wird. Grundsätzlich funktionieren alle 3D-Druck-Technologien gleich, weil immer in Schichten aufgebaut wird. Ich erläutere Ihnen hier das PolyJet-Verfahren, weil ich damit selbst viele Bauteile produziert habe.

Das PolyJet-Verfahren eignet sich besonders gut für kleine, filigrane Bauteile, die in einer hohen Auflösung gedruckt werden sollen. Für den Modellbau-Bereich wird deshalb sehr gern und sehr viel damit produziert. Abbildung 3.4 zeigt eine im Maßstab 1:160 gedruckte Mülltonne für eine Modellbau-Anlage.

Ein flüssiger Kunststoff ist das Bau-Material, das sauber und dicht in einer Kartusche verschlossen in die Maschine eingeführt wird. Aus diesem entsteht, Schicht für Schicht, ein Objekt auf der Bauplattform. Der im PolyJet-Verfahren arbeitende 3D-Drucker verfügt über zwei Druckköpfe. Aus dem einen wird das Bau-, aus dem anderen das *Stützmaterial* (auch als *Support-Material* geläufig) auf die Druckplattform aufgespritzt. Schichtweise entstehen so die Konturen des Bauteils. Nach jeder

Abb. 3.4 Wie im Größenvergleich zu erkennen, ist die Mülltonne winzig. Im PolyJet-Verfahren wurde sie in zwei Teilen (mit Deckel) in Schwarz gedruckt (Fasterpoly)



gedruckten Schicht wird die Bauplattform um eine Schichtstärke abgesenkt.

Der Kunststoff ist dickflüssig und wird mit Druckköpfen, die sich mit denen eines Tintenstrahldruckers vergleichen lassen, tröpfchenweise auf die darunter liegende Schicht in so genannten Voxeln aufgetragen. Ein *Voxel* ist für ein 3D-Modell das, was ein Pixel in einem 2D-Bild bedeutet. Im 3D-Bereich ist ein Voxel ein Datenpunkt einer dreidimensionalen Rastergrafik. Sie können sich das wie den kleinsten Würfel denken, aus welchem die Objekte zusammengebaut werden.

Leicht verständlich wird die Rasterung beim 3D-Druck auch, wenn Sie sich jeden Voxel als kleinen Legostein vorstellen. Ganz wie beim Bauen mit Lego, lässt sich aus vielen kleinen Steinen ein großes Objekt bauen. Wenn jeder Voxel – oder eben Legostein – nur klein genug ist, ist irgendwann die Rasterung für das Auge nicht mehr zu erkennen.

Das Bau-Material, also der flüssige Kunststoff, ist ein *Photopolymer*. Dieses wird mit Hilfe einer neben dem Druckkopf angebrachten UV-Lampe gehärtet. Das heißt: Die dünnen Kunststoffschichten werden sofort ausgehärtet, nachdem sie auf der Plattform abgelegt worden sind. Der dabei ablaufende Prozess nennt sich *Polymerisation*. Der flüssige Kunststoff besteht aus vielen kleinen Molekülbausteinen, den *Monomeren*. Durch die Einwirkung des UV-Lichts verbinden sie sich zu sehr langen Molekülketten – den *Polymeren*. Ineinander sind sie fest und bilden ein stabiles Geflecht. Sobald wieder eine Schicht ausgehärtet ist, wird die Bauplattform erneut um eine Schichtdicke abgesenkt.

Abb. 3.5 Die Figur des gedruckten Teufels ist von einem gelartigen Stützmaterial umhüllt (Fasterpoly)



Der Vorgang wiederholt sich so lange, bis das Bauteil fertig gedruckt ist.

Es werden unterschiedliche Kunststoffe als Baumaterialien angeboten. Neben relativ harten, Acrylat-ähnlichen Materialien gibt es außerdem gummiartiges und ein ABS-ähnliches, sehr festes Material. Die genauen Materialspezifikationen sind auf der Webseite des Herstellers aufgeführt.

3.3.2 Stütz- oder Support-Material wird erforderlich

Bei fast allen 3D-Druck-Verfahren wird Stützmaterial erforderlich. Ich schreibe „fast“, weil es einige Verfahren gibt, bei denen das Objekt in ein Pulverbett hineingedruckt wird. Der Grund dafür, dass Stützmaterial notwendig wird, ist der, dass ein 3D-Drucker nicht „in die Luft drucken“ kann. Auch das möchte ich wieder mit Legosteinen veranschaulichen: Beim Bauen mit Legosteinen kann man einen Stein nur auf einem darunter liegenden Stein befestigen. Beim PolyJet-3D-Druck-Verfahren wird als Grundlage ein weiches, gelartiges Stützmaterial verwendet, das sich nach dem Druck vom Bauteil entfernen lässt. Wo an einem zufällig gewählten Objekt Stützmaterial gedruckt wird, ist in Abb. 3.5 zu erkennen.

Es ist nicht immer möglich, Stützmaterial komplett zu vermeiden. So bleibt im Anschluss an den 3D-Druck die Arbeit, es vom Bauteil zu entfernen – entweder manuell oder mechanisch. Die Nachbearbeitung der Objekte ist von Verfahren zu Verfahren unterschiedlich aufwendig. Es liegt sicher im Ermessen des Einzelnen zu beurteilen, ob die eine oder



Abb. 3.6 Fertigungskette von Modellen (Fasterpoly)

andere Art der Nachbearbeitung einfacher ist. Es ist also Ansichtssache, ob Sie lieber gelartiges Material ablösen, Bauteile auswaschen oder von Pulverrückständen befreien. Nur dass die Bauteile fertig, sauber und sofort verwendbar aus dem 3D-Drucker kommen, ist beim gegenwärtigen Stand der Technik noch kein Standard. Deshalb sollten Sie, wenn Sie mit dem Gedanken spielen, sich einen eigenen 3D-Drucker zu beschaffen, auch den anfallenden Nachbearbeitungsaufwand für die Objekte nicht unberücksichtigt lassen. Lassen Sie sich am besten zeigen, wie die Bauteile nachbearbeitet werden, bevor Sie einen 3D-Drucker kaufen. Wenn Sie Bauteile bei einem 3D-Druck-Dienstleister bestellen, übernimmt dieser die Nachbearbeitung der Objekte.

- **Wichtig** Wie genau lässt sich mit dem 3D-Druck-Verfahren produzieren? Auch 3D-Druck hat Toleranzen. Das bedeutet, es kann Abweichungen geben. Passungen sind deshalb nicht immer möglich. Die Abweichungstoleranz beim 3D-Druck beträgt in vielen Verfahren rund einen Zehntelmillimeter. Damit sind die Abweichungen beim 3D-Druck größer als bei vielen anderen Verfahren. So ist 3D-Druck ungenauer als zum Beispiel Spritzguss. Die Schichten, aus denen die Objekte sukzessive aufgebaut werden, betra-

gen in der Regel zwischen 0,09 und 0,15 Millimeter, wodurch sich auch in der Höhe ein Fehler ergibt.

Beispiel

Als Beispiel ist in Abb. 3.6 eine Fertigungskette von Modellen dargestellt: Die Teufelsfigur ist ganz links als 3D-CAD-Modell abgebildet. In der Mitte steht das weniger als fünf Zentimeter hohe, fertig gedruckte Modell. Rechts sehen Sie den mit Modellbaufarben bemalten Teufel.

Zusammenfassung

Ob es sich bei der seit Ende der 1980er Jahre bekannten Technologie des schichtweisen Aufbaus von Bauteilen um 3D-Druck oder Rapid Prototyping handelt, wird immer wieder diskutiert. Gibt es einen Unterschied zwischen 3D-Druck und Rapid Prototyping?

4.1 Es gibt Unterschiede

Ein augenfälliger Unterschied ist, dass die überwiegende Anzahl der als 3D-Drucker bezeichneten Anlagen eher Desktop-Geräte mit einer nicht allzu großen Bauplattform sind. Häufig ist es so, dass in den Bauraum maximal Objekte mit ungefähr 250 Kubikzentimetern Hüllvolumen passen. Es gibt jedoch Ausnahmen, wie zum Beispiel den Großraum-Drucker Protos X400 der German RepRap GmbH, dessen Bauraum $400 \times 400 \times 350 \text{ mm}^3$ beträgt. Dennoch produzieren professionelle Rapid-Prototyping-Anlagen in der Regel in einer anderen Kategorie und können durchaus Objekte in einer Größe von $2000 \times 700 \times 800 \text{ mm}^3$ herstellen.

Für die Materialien gibt es bei professionellen Rapid-Prototyping-Anlagen eine sehr große Auswahl. In die Materialforschung wird nach wie vor von den Unternehmen sehr viel Geld investiert. Ob in der Industrie mit Keramik, Kunststoff, Titan oder anderen Metallen gearbeitet wird: Die Prototypen müssen in ihren gewünschten Eigenschaften dem Serienbauteil immer näher kommen und teilweise als Funktionsmodelle verwendet werden.

Was überwiegend unter 3D-Druck verstanden wird, ist das von der Firma Stratasys entwickelte *FDM (Fused-Deposition-Modeling)*-Verfahren. Dabei wird mit einem drahtförmigen Kunststoffaden als Bau-Material gearbeitet. Bei diesem Schmelzschichtungsverfahren wird der Kunststoff verflüssigt und aus einer beweglichen und beheizten Düse schichtweise auf das bereits erstarrte Material zu einem Objekt extrudiert. Die Bau-Materialien sind im Privatgebrauch unkompliziert zu handhaben und verhältnismäßig preiswert.

Und das ist schon der nächste Punkt: die Kosten. Rapid-Prototyping-Dienstleister bieten auch für Privatpersonen Objekte zu bezahlbaren Preisen an. Große Bauteile für die Industrie, welche auf professionellen Anlagen gefertigt werden müssen – so zum Beispiel Lasersinter-Teile – kosten ein Vielfaches und werden meist tatsächlich nicht in Serie, sondern als Prototypen produziert. Hinzu kommt, dass die Betriebskosten und die Wartung von industriellen Rapid-Prototyping-Anlagen viel kostenintensiver sind als die von bürotauglichen kleinen 3D-Druckern. Das ist nicht erstaunlich, wenn man berücksichtigt, dass eine Lasersinter-Anlage, welche Flugzeugteile aus Titan druckt, 1 Million USD kosten kann [1].

Weitere Punkte sind die Nutzbarkeit und die Anwenderfreundlichkeit. Die meisten 3D-Drucker können von Privatpersonen ohne umfassende technische Kenntnisse nach einer Einweisung oder Anleitung bedient werden. Für gewöhnlich sind sie schnell einsatzbereit und nicht sonderlich wartungsintensiv. Rapid-Prototyping-Maschinen hingegen benötigen geschultes Fachpersonal zur Bedienung – und vor allem auch für die regelmäßige Wartung.

Für erste Bauteile zur Überprüfung der Machbarkeit und des Designs sind 3D-Drucker sicherlich vollkommen ausreichend. Um ein Objekt vermarkten und weiterverkaufen zu können, ist es jedoch oft sinnvoll, den letzten Stand des Modells auf einer industriellen Rapid-Prototyping-Anlage produzieren zu lassen. In diesem Fall spricht man auch von Rapid Manufacturing.

Literatur

1. www.economist.com/news/technology-quarterly/21584449-how-3d-printers-work

Welche 3D-Druck-Technologien gibt es und welche Technologie eignet sich wofür?

Zusammenfassung

Es gibt sehr viele verschiedene Verfahren, die alle unter 3D-Druck, oft auch unter Additive Manufacturing, generativer Fertigung oder Rapid Prototyping zusammengefasst werden. 3D-Druck scheint der Begriff zu sein, der sich in der Öffentlichkeit mehr und mehr durchsetzt, obwohl er recht umgangssprachlich und nicht für alle der schichtweise aufbauenden Verfahren ganz korrekt ist. Um nicht ständig die Bezeichnung zu wechseln, bleibe ich hier jedoch bei dem Begriff 3D-Druck. Sie werden vielleicht überrascht sein, wie viele unterschiedliche Verfahren es gibt, die gemeint sind, wenn von 3D-Druck die Rede ist. Letztlich arbeiten diese jedoch alle nach dem gleichen Grundprinzip: Ein Objekt wird Schicht für Schicht aufgebaut. In diesem Kapitel stelle ich Ihnen eine Übersicht der verschiedenen 3D-Druck-Technologien vor.

5.1 Die Technologien des 3D-Drucks im Überblick

Grob lassen sich die gegenwärtig üblichen Verfahren in drei Gruppen einteilen: 1) das Sinter- oder Pulverdruckverfahren, 2) das Drucken mit extrudierten Bau-Materialien und 3) die Stereolithografie, bei der das Bauteil in einem Bad aus einem flüssigen Bau-Material, das bei Belichtung aushärtet, produziert wird.

5.1.1 3D-Drucken mit Pulver (3DP)

Schicht für Schicht wird das Objekt beim 3D-Pulverdruck (3DP) aus einem zuvor pulverförmigen Material – wie beispielsweise Gips, welcher mit einem Bindemittel gehärtet wird – aufgebaut. Dabei wird mit einem sehr ähnlichen Verfahren wie beim Tintendruck gearbeitet. Viele der 3D-Drucker haben – ähnlich wie 2D-Tintenstrahldrucker – mehrere Druckköpfe, aus denen ein Bindemittel in Form von kleinen Tröpfchen geschossen wird. Das flüssige Bindemittel verhält sich ähnlich wie ein Klebstoff oder ein Härter und lässt die einzelnen Pulverkörner kristallisieren bzw. verkleben.

In den Bereichen, in denen der Binder aufgedruckt wird, wird schichtweise Pulver aufgetragen. Beim Drucken bewegt sich das Pulverbett immer um eine Schicht nach unten, damit das Objekt nach oben hin aufgebaut werden kann. Bei dem flüssigen Bindemittel, das auf die Pulverschichten aufgetragen wird, ist der Zusatz unterschiedlich farbiger Tinten möglich. So können mehrfarbige dreidimensionale Objekte hergestellt werden. Sind diese gedruckt, müssen sie vom sie umgebenden Pulver befreit und zur höheren Stabilität gegebenenfalls mit einer Art Sekundenkleber oder Epoxidharz imprägniert werden (Infiltration). Das überschüssige Pulver kann zum Teil erneut zum Drucken verwendet werden.

Werkstoffe: Kunststoff-, Kalk- oder Gipspulver und weitere pulverförmige Materialien verschiedener Art (zum Beispiel Keramik oder Zellulose)

Einschätzung der Technologie: Obwohl bei diesem Verfahren keine Stützstrukturen erforderlich sind, ist eine Nachbearbeitung nach dem Drucken notwendig. Die fertigen Bauteile müssen von anhaftendem Pulver befreit werden, das sich mit Hilfe von Druckluft beseitigen lässt. Nicht infiltrierte Bauteile können spröde sein.

Von Vorteil beim 3DP-Verfahren ist die Möglichkeit, dass sich Bauteile herstellen lassen, die nicht oder nur schwer entformbar sind. Der Grund dafür ist, dass das Pulver im Innern des Bauteils auch durch kleine Öffnungen problemlos entfernt werden kann. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, ohne zusätzliche Arbeitsschritte mehrfarbige Objekte herzustellen. Dazu benötigt man neben der Geometriedatei eine Datei mit der Farbinformation, der Textur. Durch Infiltrieren mit einem Wachs,

Sehen und begreifen.

**Aus Länderdaten
werden Skulpturen.**



Distribution via online-shop
<http://www.sculpteo.com/en/s/nostromo/>



Diese 3D-Skulptur zeigt Länderbevölkerungen als Höhen und Pro-Kopf-Einkommen als Farben und ist ein innovatives Produkt des "Additive Manufacturing". Herausragend die Säulen von China (gelb) und Indien (orange). Afrika ist nach wie vor arm (rote Farben).

The underlying data have been published in the Worldbank book "World Development Report 2012" on pages 392-393 and 402-403. This does not imply that The World Bank is participating in, or has sponsored, approved or endorsed the manner or purpose of this use of the Datasets.

Abb. 5.1 Ein mit dem 3DP-Verfahren mehrfarbig gedrucktes 3D-Modell, Daten-Skulptur der Bevölkerungen nach Ländern (MeliesArt/Volker Schweisfurth)

Harz oder Kunststoff und späteres Polieren lassen sich hochglänzende Oberflächen erzielen. Dabei ist die Detailauflösung allerdings begrenzt.

Abbildung 5.1 zeigt ein im 3DP-Verfahren mehrfarbig gedrucktes Modell.

Beispiel

Die Druckqualität beim Mehrfarbendruck wird zunehmend besser, weil die 3D-Drucker immer mehr optimiert werden. Die Farb-3D-Drucker von 3D Systems (ehemals die Drucker der ZCorporation) arbeiten mit 3D-Pulverdruck. Als Ausgangsmaterial dient ein sehr fein zermahlene Pulver, das im Wesentlichen aus Gips und Kunstharzen besteht. Das Material ist in seiner Beschaffenheit vergleichbar mit handelsüblichem Modellgips. Im Drucker befindet sich die Bindeflüssigkeit in einem Tank, welcher über ein Schlauchsystem mit einem Druckkopf verbunden ist. Der Druckkopf funktioniert ähnlich

wie der von 2D-Tintenstrahldruckern: Die Flüssigkeit – sei diese nun Tinte oder Bindemittel – ist in kleinen Kammern hinter den Düsen. Aus den Kammern wird die Flüssigkeit genau kontrolliert durch Hitze oder einen Stößel in den Gips als Tröpfchen gespritzt. Werden statt einer einfarbigen Bindeflüssigkeit die aus dem Vierfarbdruck bekannten Grundfarben Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz (CMYK) verwendet, ermöglicht das den 3D-Druck von mehrfarbigen Objekten. Der 3D-Drucker hat dazu vier Vorratstanks und vier getrennte Druckköpfe – einen für jede Farbe. Ganz wie ein Tintenstrahlprinter. Je nach Güte der verwendeten Pigmente im Bindemittel lässt sich so eine sehr gute Farbwiedergabe erreichen.

5.1.2 Selektives Lasersintern (SLS)

Das Lasersintern ist dem 3D-Drucken mit Pulver sehr ähnlich. Es unterscheidet sich von diesem jedoch durch die Bau-Materialien und die Art, auf welche die Schichten verfestigt werden. Beim Selektiven Lasersintern wird ein Pulverwerkstoff schichtweise versintert und so Schicht für Schicht zu einem Objekt aufgebaut. Dabei trifft ein Laser auf feines Pulver, um die Kügelchen an den zuvor in der Konstruktion definierten Stellen untereinander zu einem dreidimensionalen Bauteil zu verschmelzen. Das bedeutet, dass die Partikel durch eine Laserquelle an der Oberfläche miteinander verschmolzen werden.

Aufgrund der sehr kurzen Einwirkzeit des Laserstrahls muss die Temperatur des Pulvers zum Sintern des Bau-Materials sehr nahe an die Schmelztemperatur gebracht werden. Beim Drucken wird der Bauraum immer wieder um eine Schichtdicke gesenkt und eine neue dünne Pulverschicht durch einen Rakel (wie mit einem Fensterwischer) auf der vorherigen Schicht aufgetragen. Nach jedem Vorgang des Verschmelzens wird dieser Arbeitsschritt wiederholt.

Werkstoffe: Thermoplaste (wie zum Beispiel Polycarbonate, Polyamide, Polyvinylchlorid), Metalle, Keramiken, Sande

Einschätzung der Technologie: Es sind keine Stützstrukturen erforderlich, da das Pulverbett für Überhänge genügend Halt bietet. Das Restpulver vom fertigen Objekt zu entfernen kann sehr aufwendig sein. Die Größe der Pulverpartikel und der Durchmesser des Laserstrahls begren-

zen die Genauigkeit der Bauteile. Durch den Temperatureinfluss kommt es zu Schrumpfungsprozessen beim Abkühlen der Schicht, die zu Maßabweichungen und Spannungen im Bauteil führen können. Es ist jedoch möglich, diese Maßabweichungen vorher durch eine Berechnung der Maschine zu korrigieren.

Häufig erhalten die Objekte durch die Korngröße des Pulvers eine etwas raue Oberfläche und eine leichte Porosität. Der Porosität lässt sich entgegenwirken, zum Beispiel indem man das fertige Objekt in flüssigem Kupfer oder einem Harz trinkt. Die Oberfläche kann durch Perlstrahlen (dabei werden kleine Metall- oder Glaskügelchen mit Pressluft auf das Bauteil geblasen) geglättet und verdichtet werden. Vorteile sind zweifellos die hohe mechanische Belastbarkeit und die große Auswahl an zur Verfügung stehenden Bau-Materialien. Das Verfahren eignet sich für Endprodukte. Flugzeugbauteile bei den großen Herstellern in der Luftfahrt werden zunehmend mit dem Lasersinter-Verfahren produziert.

- **Wichtig** Das nicht versinterte Pulver bleibt im Ursprungszustand, nachdem das fertige Bauteil aus dem Pulverbett entfernt (entstürzt) worden ist. Das Pulver wird meist direkt in der Maschine aufgefangen und teilweise zum Drucken neuer Objekte weiterverwendet. Rund 50 % des Pulvermaterials sind wiederverwertbar, so dass nicht alles davon entsorgt werden muss.

5.1.3 Selective Heat Sintering (SHS)

Das dänische Unternehmen BluePrinter [1] hat einen recht neuen 3D-Drucker auf den Markt gebracht. Der SHS 3D Printer arbeitet mit einer Technologie, welche BluePrinter sich hat patentieren lassen und die auf der Euromold 2011 vorgestellt wurde: SHS = Selective Heat Sintering. Bei dieser Technologie wird – anders als beim Selektiven Lasersintern – statt eines Lasers ein thermischer Druckkopf verwendet. Dieser zeichnet das Bauteil Schicht für Schicht in ein vorgewärmtes Pulverbett. Beim Selective-Heat-Sintering-Verfahren fällt – wie beim Lasersintern – kein Stützmaterial an.

Werkstoffe: Thermoplastisches Kunststoff-Pulver

Einschätzung der Technologie: Nicht beim Druck verbautes Material wird beim Entladen der Maschine zurückgewonnen. Das Verfahren eignet sich auch für bewegliche Teile. Es ist von der Qualität der Endprodukte dem Lasersintern sehr ähnlich, dafür aber weniger kostenintensiv, da der Laser entfällt.

5.1.4 Selektives Laserschmelzen (SLM, Selective Laser Melting)

Beim Selektiven Laserschmelzen (SLM) wird das Materialpulver nicht gesintert, sondern direkt an dem Bearbeitungspunkt lokal aufgeschmolzen. Das ist der wesentliche Unterschied zum Selektiven Lasersintern (SLS).

Der pulverförmige Werkstoff wird beim Lasersintern mittels eines Lasers vollständig umgeschmolzen. Beim Erkalten verfestigt sich das Bau-Material. Durch Absenkung der Bauplattform, immer wieder neuen Auftrag von Pulver und erneutes Schmelzen der Kontur wird das Objekt Schicht für Schicht aufgebaut.

Das SLM-Verfahren ermöglicht den Aufbau einer poren- und rissfreien Struktur. So kann – zumindest theoretisch – eine 100 %-Dichte des Ausgangsmaterials erreicht werden.

Genauso wie beim Lasersintern kommt es durch den Temperatureinfluss zu Schrumpfungsprozessen beim Abkühlen der Schicht. Das kann zu Maßabweichungen führen, die jedoch zuvor von der Maschine in einer Berechnung korrigiert werden können.

Werkstoffe: Metalle (zum Beispiel Aluminium, Edel- und Werkzeugstahl oder Titan), Kunststoffe, Keramiken

Einschätzung der Technologie: Stützkonstruktionen sind nicht erforderlich. Die Genauigkeit ist wie beim Lasersintern durch die Größe der Pulverpartikel und die Schrumpfung beim Abkühlen begrenzt. Durch die poren- und rissfreie Struktur ist es sogar möglich, hundertprozentig dichte Bauteile herzustellen – vergleichbar mit traditionell gegossenen Bauteilen. Jedoch ergeben sich an den Schichtgrenzen Kristallgrenzen, welche die Endfestigkeit beeinflussen können. Die Bauteil-Oberfläche ist rau – wie beim Sandguss.

5.1.5 Elektronenstrahlschmelzen (EBM – Electron Beam Melting)

Das Verfahren des Elektronenstrahlschmelzens, patentiert vom schwedischen Unternehmen Arcam, ist auch als Elektronenstrahlsintern bekannt. Es dient zur Herstellung von metallischen Bauteilen. Dabei wird durch einen Elektronenstrahl schichtweise Metallpulver aufgeschmolzen. Der Elektronenstrahl wird durch eine elektromagnetische Feder gelenkt.

Werkstoffe: Metalle, zum Beispiel Titan, Kobalt-Chrom

Einschätzung der Technologie: Elektronenstrahlschmelzen betrachtet man oft als Alternative zu lasergestützten Verfahren, weil der Laser durch einen Elektronenstrahl ersetzt wird. Der Vorteil des Elektronenstrahlschmelzens ist eine hohe Flexibilität und eine gute Kontrolle sowohl über die Temperatur (der Bauraum der Maschine wird auf etwa 1000 Grad Celsius aufgeheizt) als auch die Schmelzgeschwindigkeit. Anwendung findet das Verfahren überwiegend in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Implantationstechnik.

Der hohe Wirkungsgrad des Elektronenstrahls und das für einige Baumaterialien bessere Absorptionsverhalten gegenüber dem Laser werden als Vorteile gesehen. Die Qualität der Oberflächen ist mit herkömmlichem Sandguss vergleichbar.

5.1.6 Fused Deposition Modeling (FDM, Schmelzschichtung)/ Fused Filament Fabrication (FFF)

Die US-amerikanische Firma Stratasys hat das Fused-Deposition-Modeling (FDM)-Verfahren entwickelt. Dabei entsteht aus einem schmelzfähigen (thermoplastischen) Kunststoff das Objekt Schicht für Schicht. Das drahtförmige Kunststoff- oder auch Wachsmaterial wird zunächst knapp über seinen Verflüssigungspunkt erhitzt. Mit Hilfe eines Extruders und einer beweglichen und beheizten Düse wird es schichtweise auf das bereits erstarrte Material auf der Bauplattform zu einem Objekt aufgebaut. Die 3D-Drucker, die mittlerweile in mehr und mehr Haushalten von Privatpersonen genutzt werden, arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie

eine Heißklebepistole. Das Verfahren wird als Fused Filament Fabrication (FFF) bezeichnet, ist aber grundsätzlich mit dem FDM-Verfahren vergleichbar. Der Begriff Fused Deposition Modeling (FDM) ist durch Stratasys patentrechtlich geschützt. Weil diese Bezeichnung im Umgang dennoch weiterhin auch für die Technologie der RepRap- und anderer 3D-Drucker gebräuchlicher ist als Fused Filament Fabrication, verwende ich sie weiter – um Sie nicht mit zwei unterschiedlichen Bezeichnungen für ein ähnliches Verfahren zu verwirren.

Werkstoffe: ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol – das ist das Material, aus dem auch Legosteine hergestellt werden), PLA (Polylactide – das sind technische *Biopolymere* auf Milchsäurebasis, die zu den Polyestern gehören und biologisch abbaubar sind), Wachs, Laywood (Holzdraht); es wird jedoch mit allen möglichen neuen Materialien experimentiert, so zum Beispiel auch mit Plastilin-Arten wie Play-Doh oder dem Hightech-Silikonmaterial Sugru.

Einschätzung der Technologie: Bauteile, die überstehen, können mit dem FDM-Verfahren zum Teil nur mit Stützkonstruktionen erzeugt werden. Diese müssen in einem zusätzlichen Nachbearbeitungsschritt entfernt werden. Die gedruckten Bauteile sind in der Regel stabil. So belastbar wie ein Spritzgussbauteil aus dem gleichen Material sind sie aber bisher noch nicht. Optisch sind die überwiegend verwendeten Bau-Materialien ABS und PLA bei den gedruckten Objekten kaum zu unterscheiden. PLA weist jedoch eine geringere Temperaturbeständigkeit als ABS auf.

Ein großer Vorteil der Technologie ist, dass auch Bauteile hergestellt werden können, die gar nicht oder nur schwer entformbar sind. Der Grund dafür ist, dass die Stützmaterialien im Inneren eines Objekts als wasserlösliches Stützmaterial ausgewaschen werden können. Die Oberflächenqualität der Bauteile ist in der Regel geringer als bei vielen anderen Verfahren, weil die einzelnen Schichten des Aufbaus meist gut zu erkennen sind. Dafür gehört aber das FDM-Verfahren zu den preisgünstigeren Verfahren. Außerdem werden mehr und mehr ABS-Finisher entwickelt, welche die Oberflächenqualität der Objekte verbessern, das heißt: glätten können. Diese Geräte arbeiten zum Beispiel mit Aceton-Dampf. Die meisten 3D-Drucker, die derzeit an Privatanwender verkauft werden, drucken mit dem FDM-Verfahren.

- **Wichtig** Die zum Druck erforderlichen Stützmaterialien werden immer umweltfreundlicher. So wird bei einigen FDM-Druckern als Stützmaterial PVA-Filament (Polyvinylalkohol) verwendet. Dieses löst sich nach dem Drucken in Wasser auf und kann anschließend in das normale Abwasser entsorgt werden, weil es für die Umwelt unschädlich ist.

Beispiel

Vielen von Ihnen wird der erste 3D-Druck-Stift mit dem Namen 3Doodler [2] – „Doodle“ bedeutet auf Deutsch „Gekritzelt“ – des US-amerikanischen Unternehmens Wobbleworks aus den Medien bekannt sein. Dieser so genannte Freihand-Drucker lässt sich ohne technisches Know-how, ohne Software und sogar ohne einen Computer benutzen. Allein eine Steckdose wird benötigt, damit das ABS- oder PLA-Material im Inneren des Stifts auf bis zu 270 Grad Celsius erhitzt werden kann. Nachdem er durch die Spitze des Stifts den Druckkopf verlassen hat, wird der Kunststoff in Sekundenschnelle gehärtet. Sie können mit dem 3Doodler freihändig 3D-Modelle in den Raum zeichnen und diese so während des Zeichnens dreidimensional in Kunststoff produzieren. Wie mit einer Heißklebepistole. Streng genommen, ist der 3Doodler aber kein 3D-Drucker. Für einen Drucker wäre eine 3D-CAD-Zeichnung oder ein 3D-Scan Voraussetzung zum Druck.

5.1.7 Stick Deposition Molding (SDM)

Vom deutschen Hersteller Sintermask wurde für den Heimgebrauch der 3D-Drucker Fabbster [3] entwickelt, der mit dem Stick-Deposition-Molding (SDM)-Verfahren arbeitet. Beim Fabbster funktioniert die Technologie für das Aufschmelzen des Kunststoffmaterials anders als bei den FDM-Druckern: Der *Extruder* wird mit seitlich profilierten Sticks gefüttert. Über ein Vorratsmagazin werden rund 25 Zentimeter lange Sticks automatisch dem Extruder zugeführt. Dadurch, dass die Sticks an zwei Seiten gezahnt sind, können zwei im Extruder befindliche Zahnräder sie voranschieben.

Werkstoffe: ABS, PLA, flexible und holzartige Kunststoffe

Einschätzung der Technologie: Entsprechend den Angaben des Herstellers haben diese Sticks einige Vorteile gegenüber dem bei vielen 3D-Druckern verwendeten Filament. Die Sticks, die das Bau-Material sind, werden im Kunststoffspritzguss gefertigt und sind damit genauer als die sonst genutzten Kunststoffdrähte. Bei der Fertigung von Bauteilen kann so die geschmolzene Menge und damit die Schichtdicke genauer gesteuert werden.

5.1.8 Multi-Jet Modeling (MJM)

Beim Multi-Jet Modeling wird das Bauteil durch einen Druckkopf, der ähnlich wie der Druckkopf eines Tintenstrahl Druckers arbeitet, schichtweise aufgebaut. Im Unterschied zum Tintenstrahl Drucker kann der Druckkopf des 3D-Druckers sowohl in x - als auch in y -Richtung verfahren werden. Die Bauplattform lässt sich in z -Richtung verfahren und wird nach jedem Bauprozessschritt um eine Schichtdicke nach unten gesenkt. Das Bau-Material ist im Ausgangszustand flüssig und wird sofort nach dem Aufdrucken auf die bereits gebauten Schichten mittels UV-Licht polymerisiert und verfestigt.

Damit Überhänge an den Objekten gedruckt werden können, wird auch bei diesem Verfahren Stützmaterial erforderlich. Die Stützen entstehen – abhängig vom Hersteller – entweder aus einem niedriger schmelzenden Wachs oder als nadelartige Stützen aus dem eigentlichen Bau-Material. Sie müssen nach dem Druck wieder entfernt werden. Wenn als Stützmaterial Wachs verwendet wird, lässt sich dieses mit geringem Aufwand durch Erwärmen abschmelzen.

Werkstoffe: wachsartige Thermoplaste, UV-empfindliche Photopolymere

Einschätzung der Technologie: Sowohl die Oberflächenqualität der Objekte als auch die Druckauflösung sind beim Multi-Jet-Modeling-Verfahren meist sehr hoch. Dennoch bleibt es nicht aus, dass nach dem Druck die Stützkonstruktionen entfernt werden müssen.

Auf Grund der mit dieser Technologie nur äußerst kleinen beim Drucken erzeugten Tröpfchen können sehr feine Details an den Bauteilen gut dargestellt werden. Jedoch dauert der Druckprozess recht lange. Das

Multi-Jet-Modeling-Verfahren ist von den erzielbaren Ergebnissen dem Stereolithografie-Verfahren sehr ähnlich.

5.1.9 Stereolithografie (STL oder auch SLA)

Bei der Stereolithografie wird ein lichtaushärtender Kunststoff (Photopolymer) – beispielsweise Kunst- oder Epoxidharz – von einem Laser in dünnen Schichten polymerisiert (ausgehärtet). Das flüssige Kunststoffbad besteht aus den Basismonomeren dieses lichtempfindlichen (photosensitiven) Kunststoffes. Nach jedem Arbeitsschritt wird das Bauteil um einige Millimeter in der Flüssigkeit abgesenkt und auf eine Position zurückgefahren, die um den Betrag einer Schichtstärke unter der vorherigen liegt.

Mit einem Wischer wird der flüssige Kunststoff über der vorherigen Schicht gleichmäßig verteilt. Danach fährt ein über bewegliche Spiegel gesteuerter Laser auf der neuen Schicht über die auszuhärtenden Flächen. Nach dem Aushärten wird die Bauplattform wiederum abgesenkt und daran anschließend die nächste Schicht gedruckt. So entsteht Schritt für Schritt das 3D-Objekt. Das Bauteil kann nicht in das flüssige Bad gedruckt werden kann, weil es sonst wegschwimmen würde. Das macht Stützstrukturen erforderlich, die in Form kleiner Säulen an dem Objekt entstehen. Diese Stützkonstruktionen bestehen aus dem gleichen Baumaterial wie das Bauteil und müssen vom fertigen Objekt nachträglich mechanisch entfernt werden.

Bei der Standardstereolithografie geht man von Schichtstärken von 0,05 bis 0,25 Millimetern aus, bei der Mikrostereolithografie sind winzige Schichten von bis zu 1 Mikrometer möglich. Bei der Mikrostereolithografie sollen keine Stützkonstruktionen erforderlich sein.

Werkstoffe: flüssige Duomere (Epoxidharze, Acrylate) oder Elastomere

Einschätzung der Technologie: Stützkonstruktionen müssen am fertigen Bauteil entfernt werden. Außerdem bietet das Stereolithografie-Verfahren oft nur eine geringe thermische und mechanische Belastbarkeit der fertigen Werkstücke. Das Baumaterial, also die photosensitiven Kunststoffe, ist in der Regel UV-lichtempfindlich und aus diesem Grund zurzeit nur begrenzt haltbar. Der Vorteil des Stereolithografie-Verfahrens

ist, dass recht feine und glatte Oberflächen mit hohem Detailgrad erzeugt werden können. Es gilt als sehr genaues Verfahren.

Die Stereolithografie wurde im Jahr 1983 von Chuck Hill, dem späteren Gründer von 3D Systems, erfunden. Weil die Stereolithografie damit das am längsten bekannte und genutzte 3D-Druck-Verfahren ist, gibt es bei dieser Technologie die meisten Erfahrungen. Aufgrund der hohen Materialkosten und der geringen Baugeschwindigkeit zählt Stereolithografie zu den hochpreisigeren Technologien.

5.1.10 Scan-LED-Verfahren (SLT) als Weiterentwicklung der klassischen Stereolithografie

Die Scan-LED-Technologie (SLT) kann als Weiterentwicklung der klassischen Stereolithografie betrachtet werden. Bei diesem Verfahren wird für das Aushärten des Bau-Materials statt mit einem Laser mit einer DLP-LED-basierten UV-Lichtquelle mit einer UV-Wellenlänge von 365 Nanometer gearbeitet. Mit dieser wird schichtweise ein flüssiges Photopolymer zu einem festen Bauteil gehärtet. Für die Maschine ergibt sich durch diese Art der Aushärtung der Vorteil geringerer Wartungs- und Reparaturkosten.

Eingesetzt wird die Scan-LED-Technologie besonders gern für Präzisionsteile in der Medizintechnik [4], zum Beispiel zur Herstellung von Hörgeräten oder dentalen Applikationen.

Werkstoffe: Photopolymere, FotoMed-Materialien (biokompatible und nicht biokompatible Kunststoffe)

Einschätzung der Technologie: Entsprechend dem Hersteller wurde die Anlage als offenes System eingerichtet, das keine RFID-Codierung hat (RFID = radio-frequency identification; bei dieser Codierung handelt es sich um eine Art „Funk-Etikett“ zur Erfassung von Daten). Das bedeutet, dass Nutzer auch ihre eigenen Harze entwickeln können. So könnte hier bei den Materialkosten enorm gespart werden. Oftmals ist es so, dass bei professionellen 3D-Druck-Anlagen die Druck-Materialien sehr teuer und zusätzlich noch mit einem Schutzsystem gegen Fremdanbieter ausgestattet sind.

5.1.11 Film Transfer Imaging (FTI)

Das Film-Transfer-Imaging-Verfahren wurde von dem Unternehmen 3D Systems entwickelt und basiert auf einem Bildprojektionssystem. Es ist dem Stereolithografie-Verfahren sehr ähnlich. Jedoch wird beim FTI-Verfahren das Bau-Material mit einem Beamer statt mit einem Laser verfestigt. Beim Film-Transfer-Imaging-Verfahren gibt es – anders als bei der Stereolithografie – auch kein Bad. Stattdessen wird mittels einer Transportfolie das noch nicht vollständig ausgehärtete Bau-Material auf der Bauplattform aufgebracht.

Auf der Transportfolie wird mit Hilfe einer Beschichtungsvorrichtung ein Materialfilm erstellt, der die ganze Breite des Bauraums umfasst. Durch die Folie wird das Bauteil belichtet. Dadurch werden die zum Bauteil und den Stützen gehörenden Teile erhärtet.

Das Material, das unbelichtet bleibt, bleibt an der Folie haften. Zusammen mit der Folie wird es nach der Produktion vom Bauteil und dem am Bauteil haftenden Stützmaterial abgezogen. Sowohl Materialreste als auch die benutzte Folie werden in die Druckerkartusche zurücktransportiert und zusammen mit dieser ausgewechselt.

Werkstoffe: Photopolymere

Einschätzung der Technologie: Die Technologie des Film Transfer Imaging ermöglicht bei den gedruckten Objekten eine feine Auflösung und eine hohe Oberflächenqualität. Die Stützstrukturen müssen vom fertigen Objekt entfernt werden. Verglichen mit der Stereolithografie ist diese Technologie recht materialintensiv. Sie ermöglicht aber den Bau von einfacheren 3D-Druckern.

5.1.12 Digital Light Processing (DLP)

Das Verfahren des Digital Light Processing (DLP) ist eine von dem US-amerikanischen Unternehmen Texas Instruments entwickelte Projektionstechnik und von Texas Instruments als Marke registriert.

Der 3D-Drucker ZBuilder Ultra von 3D Systems fertigt seine Objekte mittels Digital Light Processing: Beim Bauvorgang wird ein flüssiges Photopolymer mit dem hochauflösenden DLP-Projektor, einer Beamer-

Bauart, verfestigt. Die Bewegung bei der Herstellung geht dabei nur in z-Richtung.

Das Herstellungsverfahren ist dem Film-Transfer-Imaging (FTI)-Verfahren und dem Scan-LED-Verfahren recht ähnlich; die Objekte werden in einem Bad gebaut.

Werkstoffe: Photopolymere

Einschätzung der Technologie: Digital Light Processing ermöglicht bei den Bauteilen eine feine Auflösung und eine gute Oberflächenqualität. Die präzise Lichtsteuerung beim Druckvorgang ermöglicht scharfe Kanten an den Bauteilen. Wegen der lichtempfindlichen Photopolymere, die als Werkstoff benutzt werden, ist die thermische Qualität der Bauteile nicht sehr hoch.

Die Stützkonstruktionen müssen vom fertigen Objekt nachträglich mechanisch abgetrennt werden. Da die Stützstrukturen aus demselben Material wie das Bauteil sind, ist es recht aufwendig, sie vom ausgehärteten Objekt zu entfernen.

5.1.13 PolyJet

Das PolyJet-3D-Druck-Verfahren hat sich die Firma Objet (Objet gehört seit dem Jahr 2012 zum Unternehmen Stratasys) patentieren lassen. Grundsätzlich funktioniert es wie das Multi-Jet-Modeling-Verfahren, weil ebenfalls Druckköpfe wie bei einem Tintenstrahldrucker genutzt werden. Die 3D-Drucker haben zwei oder auch mehr Druckköpfe – einen für das Bau- und einen für das Support-Material. Diese spritzen Schicht für Schicht die Konturen des Modells auf der Bauplattform auf. Bei dem Bau-Material handelt es sich um Photopolymere, welche nahezu sofort mit einer sich im Drucker befindenden UV-Lampe auf der Bauplattform gehärtet werden. Das Support-Material hat eine gelartige Konsistenz und muss nach dem Druck vom fertigen Objekt mechanisch abgelöst werden.

Die PolyJet-Technologie ermöglicht ein Mehrkomponenten-3D-Drucken. Einige der 3D-Drucker, die mit der PolyJet-Technologie arbeiten, können gleichzeitig in verschiedenen Materialien mit jeweils unterschiedlichen Eigenschaften drucken. Diese 3D-Drucker haben drei Druckköpfe für die verschiedenen Bau-Materialien. Einer davon

verteilt das Support-Material, während die beiden anderen die zwei Bau-Materialien in den unterschiedlichen Eigenschaften, wie Farbe oder Shore-Härte, auftragen. Die Mischung der beiden Materialien ermöglicht es, die Eigenschaften des Bauteils für jeden Voxel individuell einzustellen.

Der 3D-Drucker kann so zum Beispiel Shore-Härten zwischen 40 und 95 drucken. Die Shore-Härte 40 ist weich, während Sie sich die Shore-Härte 95 als hart wie ein Radiergummi vorstellen können. Das Besondere dabei ist, dass diese weichen und harten Materialien gleichzeitig gedruckt werden können. Für das Mehrkomponenten-3D-Drucken ist es notwendig, dass schon in den STL-Dateien die in den Baugruppen erwünschten Hart- und Weichkomponenten voneinander getrennt sind. Allein so können sie von der Software entsprechend verarbeitet werden.

Werkstoffe: Photopolymere

Einschätzung der Technologie: Das PolyJet-3D-Druck-Verfahren ermöglicht sehr feine Strukturen und Oberflächen. Es lassen sich bei den Bauteilen sehr dünne Wandstärken drucken.

Durch die dem Inkjet-Verfahren ähnliche Technologie sind mehrere Materialien kombinierbar. Eine Nachbearbeitung der Objekte ist nach dem Druck erforderlich, weil das Stützmaterial entfernt werden muss.

5.1.14 Laminated Object Modeling (LOM) oder Folienlaminier-3D-Druck

Der Folienlaminier-3D-Druck ist eine sehr frühe Art des 3D-Drucks. Dabei wird das Objekt schichtweise – beispielsweise aus Papier – aufgebaut. Die Form wird aus Papierschichten oder auch mit Folien aus Keramik, Kunststoff oder Aluminium aufgetragen. Jede neue Schicht wird auf die schon vorhandene Schicht laminiert und so zu einem Objekt verklebt.

Dies kann entweder durch Solid Foil Polymerization (Folien-Polymerisation) oder galvanisch (Electrosetting) geschehen. Im Anschluss wird die Bauteil-Kontur mit einem Messer, einem heißen Draht oder einem Laser geschnitten. Danach kann die nächste Schicht aufgetragen werden.

Werkstoffe: Papier, Kunststoffe, Keramik oder Aluminium

Einschätzung der Technologie: Hinterschnittene oder hohle Bauteile lassen sich mit dem Verfahren nur fertigen, wenn diese am Hinterschnitt getrennt und anschließend wieder verklebt werden. Auch beim Folienlaminier-3D-Druck ist eine Nachbearbeitung nötig: Überschüssige und nicht verklebte Folienschichten, von denen das Bauteil umgeben ist, müssen manuell entfernt werden. Es fällt immer ungenutztes Baumaterial in der Breite der aufgetragenen Bahn an. Das muss als Abfall entsorgt werden.

Die Auflösung der Bauteile ist beim Laminated Object Modeling recht hoch. Aufgrund der preiswerten Baumaterialien wie zum Beispiel Papier handelt es sich um ein sehr preisgünstiges 3D-Druck-Verfahren. Mit Epoxidharzen lassen sich die gedruckten Objekte leicht infiltrieren und damit haltbar machen. Tatsächlich aber wird das herkömmliche Laminated Object Modeling in dieser Form derzeit kaum weiterentwickelt. Vom Grundprinzip darauf aufbauend ist das neue Verfahren Selective Deposition Lamination.

5.1.15 Selective Deposition Lamination (SDL)

Dieses Verfahren verwendet der Drucker „Iris“ des irischen Unternehmens Mcor Technologies. Dieser kann in sehr hoher Qualität mit Papier drucken. Anders als beim als veraltet geltenden Laminated Object Modeling, bei welchem beim Druck sehr viel Material rund um das Modell verklebt wurde, das nachträglich entfernt werden musste, lässt sich das Stützmaterial bei dieser Technologie einfach abbrechen. Beim Selective-Deposition-Lamination-Verfahren zieht der 3D-Drucker von seinem Papier-Werkstoff ein Blatt nach dem anderen ein und verklebt es mit der Schicht darunter. Die Form des Modells wird mit einem im Drucker integrierten Messer entsprechend den Vorgaben ausgeschnitten. Dieser 3D-Drucker färbt durch vorheriges Bedrucken der Papierblätter mit einem Tintenstrahldrucker direkt beim Aufbau die Bauteile in fotorealistischen Farben ein. An den im 3D-Modell vorgegebenen Schnittkanten wird jede Seite Papier, die aufgetragen wird, beidseitig bedruckt. Dadurch erscheint die Schnittkante in der gewünschten Farbe. In Abb. 5.2 sehen Sie den 3D-Drucker „Iris“, der mit dem SDL-Verfahren Modelle fertigt.

Abb. 5.2 Der 3D-Drucker „Iris“ – diese Anlage benötigt nur Papier als Bau-Material (Mcor Technologies)



Werkstoff: Papier

Einschätzung der Technologie: Bisher habe ich nur Modelle in hoher Qualität, auch hoher Farbqualität, gesehen.

Das Verfahren ist wegen des Bau-Materials Papier äußerst preisgünstig und eignet sich deshalb gut für Design- oder Architekturmodelle. Außerdem überzeugt das umweltfreundliche Bau-Material Papier. Wenn der Prototyp ausgedient hat, muss man nicht mehr über die umweltfreundliche Entsorgung des Objekts nachdenken. Es kann ganz einfach in den Altpapiercontainer geworfen werden.

Die gedruckten Objekte müssen nicht infiltriert werden. Obwohl sie aus Papier produziert werden, sind die Bauteile sehr fest. Der Hersteller des 3D-Druckers „Iris“ wirbt mit einem stabilen, aus Papier gedruckten Flaschenöffner. Allerdings ist es nicht so einfach, hohle Objekte zu drucken, da das Papier aus dem fertigen Objekt nicht entfernt werden kann. Abbildung 5.3 zeigt ein Modell, das aus Papier und mehrfarbig gedruckt wurde.



Abb. 5.3 Der Papierschädel wurde mehrfarbig gedruckt (Mcor Technologies)

5.1.16 Contour Crafting (CC)

Kann noch von 3D-Druck die Rede sein, wenn ganze Häuser „gedruckt“ werden? Die fachlich richtige Bezeichnung für den 3D-Druck von Gebäuden ist Contour Crafting. Wenn die meisten Endverbraucher vom Drucken ihres eigenen Hauses noch weit entfernt sind, möchte ich Ihnen diese theoretische Möglichkeit dennoch nicht vorenthalten. Entwickler des Contour Crafting ist Dr. Behrokh Khoshnevis von der University of Southern California in Los Angeles, USA. Ein wichtiger Antrieb, diesen schnellen Hausbau zu entwickeln, war für den aus dem Iran gebürtigen Forscher ein persönlicher: Contour Crafting würde es ermöglichen, dass nach Naturkatastrophen, wie zum Beispiel Erdbeben in Khoshnevis' Heimatland, ganze Häuser innerhalb kürzester Zeit errichtet werden könnten.

Zunächst wird das zu „druckende“ Haus am Computer entworfen. Im Anschluss daran werden die Daten an den Drucker weitergeleitet. Dieser Drucker ist ein vollautomatischer Portalroboter und größer als das Gebäude, das er bauen soll. Aus den Düsen des überdimensionalen 3D-Druckers kommt ein Beton-ähnliches, schnell bindendes Material. So können Objekte in der Größe von Häusern entstehen, die „in einem Stück“ ausgedruckt werden. Der Drucker arbeitet mit der Unterstützung eines mobilen Roboters oder eines Aluminiumgerüsts, über welches die dickflüssigen Bau-Materialien in Schichten aufgetragen werden.

Die Maschine baut Schicht für Schicht fünf bis zehn Millimeter dicke Schichten aus Sand, Mineralstaub oder Kies auf, um sie anschließend mit einem anorganischen Bindemittel zu verfestigen. Für eine Schicht von 30 Quadratmetern braucht der Drucker ungefähr zwei Minuten. So soll ein Haus innerhalb von 24 Stunden fast lautlos gebaut werden können. Weil sich Installationsschächte direkt mitdrucken lassen, sei der nachträgliche Einbau von Fenstern und Türen, Elektrik, Lüftungen und anderen Installationen in dem Haus problemlos.

Werkstoffe: Beton (weil Bau-Materialien mit hoher Fließfähigkeit benötigt werden, lässt sich neben Beton auch Lehm verwenden)

Einschätzung der Technologie: Eine Technologie, mit der sich ganze Gebäude errichten lassen, fällt als 3D-Druck-Verfahren ein wenig aus dem Rahmen und lässt sich mit den anderen Verfahren nicht hinsichtlich der Oberflächenqualität oder der Festigkeit des Materials vergleichen.

Eine Maschine, die ganze Gebäude drucken kann, bietet einige Vorteile: Rund die Hälfte der geschätzten Arbeitskosten, die beim Hausbau für Bau-Personal anfallen, ließen sich so einsparen. Wenn ein Haus in extrem kurzer Zeit gedruckt werden kann, entfallen für den Bauherrn die sonst üblichen Kosten für eine mehrmonatige Bauzeit und deren Finanzierung.

Beim 3D-gedruckten Haus gibt es wenig Ausschuss. Weil kein Bauschutt erzeugt wird, wird die Umwelt weniger belastet. Da gedruckte Häuser schneller entstehen als herkömmlich gebaute, muss nicht monatelanger Baulärm ausgehalten werden.

Wie in der Automobilindustrie, können auch beim Hausbau vorgefertigte Elemente eingefügt werden. Insgesamt wird durch Contour Crafting das Bauen effizienter und effektiver. Eine breite Akzeptanz dieses Bauverfahrens könnte jedoch zur Folge haben, dass langfristig ganze Be-

rufsgruppen ihre Arbeitsplätze verlieren, weil sie durch den 3D-Drucker ersetzt würden.

Literatur

Internetquellen

1. www.blueprinter.dk
2. www.the3doodler.com
3. www.fabbster.de
4. www.3d-labs.de

Weiterführende Literatur

5. Jannis Breuninger, Ralf Becker, Andreas Wolf, Steve Rommel, Alexander Verl, Generative Fertigung mit Kunststoffen: Konzeption und Konstruktion für Selektives Lasersintern. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2013)
6. Petra Fastermann: 3D-Druck/Rapid Prototyping: Eine Zukunftstechnologie – kompakt erklärt. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2012)
7. Wikipedia

Zusammenfassung

Wer nicht fertige 3D-Modelle kauft – was immer leichter möglich wird – muss diese selbst konstruieren. Gern mit einer 3D-Software, die nicht allzu teuer ist oder nach Möglichkeit vielleicht sogar überhaupt nichts kostet. Ich stelle in diesem Kapitel einige vor, die kostenlos sind. Allerdings habe ich sie nicht alle selbst ausprobiert. Ich führe auch noch kostenpflichtige Software auf. Wenn Sie sich zum ersten Mal mit dem Konstruieren beschäftigen, ist es sicher gut, am Anfang auf eine kostenlose 3D-CAD-Software zurückzugreifen. So können Sie feststellen, ob Sie überhaupt Freude am Konstruieren haben – und müssen im Vorfeld zum Üben erst einmal Ihre Zeit, aber kein Geld investieren.

6.1 Blender

Ursprünglich wurde die Software Blender [1] für 3D-Grafik-Design und -Animation entwickelt. Es lassen sich damit aber auch STL-Dateien exportieren. Blender eignet sich besonders gut für die 3D-Modellierung mit künstlerischer Ausrichtung und Animation. Für das Programm sind sehr viele Anleitungen, Bücher und Hilfe-Videos erhältlich, die den Einstieg erleichtern. Mit dem letzten größeren Versionssprung ist Blender erheblich einfacher zu bedienen als zuvor. Obwohl das Programm ursprünglich für Animationen entwickelt wurde, können damit auch technische Zeichnungen erstellt werden. Blender ist für Windows, OS X und Linux verfügbar.

6.2 OpenSCAD

OpenSCAD [2] ist ein Open-Source-Tool für konstruktive Volumenmodellierung. Das ist manchmal eine bessere Technik zum Konstruieren von Modellen, die 3D-gedruckt werden sollen, als die oft Mesh-basierte Oberflächen-Modellierung. Hier lässt sich eindeutig sagen, ob ein Punkt einen Voxel, also einen Tropfen aus Kunststoff, enthalten sollte oder nicht. Im Gegensatz zu Blender ist OpenSCAD nicht für animierte Filme, sondern zur Herstellung von Werkzeugteilen geeignet. Verfügbar ist es für Linux/UNIX, Windows und OS X.

6.3 SketchUp 2013 von Trimble (früher Google SketchUp)

Nachdem der US-Navigationsspezialist Trimble 2012 die Software SketchUp von Google übernommen hatte, wurde mit SketchUp 2013 [3] eine neue Version der Zeichensoftware herausgebracht. Diese ist in drei Varianten unterteilt: SketchUp Viewer, SketchUp Make und SketchUp Pro. Wie der Name bereits suggeriert, kann SketchUp Viewer bloß zum Anschauen der 3D-SketchUp-Modelle genutzt werden. SketchUp Make ist – wie der Vorgänger Google SketchUp – kostenlos und damit für Privatpersonen, die konstruieren wollen, gedacht. Eine kommerzielle Nutzung ist nicht erwünscht. Dafür ist die kostenpflichtige Variante SketchUp Pro vorgesehen.

SketchUp 2013 läuft in allen drei Varianten unter Windows sowie OS X.

6.4 Autodesk 123D (Apps)

Das Softwareunternehmen Autodesk [4] bietet mit 123D (www.123dapp.com) eine Gratis-Software-Reihe für die 3D-Volumenmodellierung an. Auf der Webseite stehen neben Support-Foren auch einige kostenlose Designvorlagen zum Download zur Verfügung. Zahlreiche Video-Tutorials unterstützen Anwender beim Einstieg.

Autodesk 123D Sculpt ermöglicht es, 3D-Modelle auf dem iPad zu erzeugen. Die Modellierung funktioniert, indem man mit dem Finger auf dem iPad das Objekt erstellt. Die Software kann im App Store von Apple heruntergeladen werden.

Außerdem gibt es die App Autodesk 123D Catch. Mit dieser Software lässt sich aus mehreren Fotos ein recht detailliertes 3D-Modell erzeugen. Zunächst müssen dafür aus vielen unterschiedlichen Blickwinkeln mit einer Digitalkamera Fotos vom Objekt gemacht werden, um eine möglichst große Anzahl an Details aufnehmen zu können. Die Cloud-basierte Anwendung Autodesk 123D Catch wandelt die digitalen Fotos in ein vernetztes 3D-Modell um, das manuell weiter- und nachbearbeitet werden kann.

Die Software Autodesk 123D Design ermöglicht Anwendern das Erstellen dreidimensionaler Volumen-CAD-Modelle ganz ohne CAD-Kenntnisse. Figuren und Formen müssen nicht selbst konstruiert werden, sondern sind bereits vorgegeben. Sie können ausgewählt und auf eine Art virtuelle Plattform gelegt werden. So lassen sich zum Beispiel Häuser, Eisenbahnen oder Roboter aus verschiedenen Elementen zusammenstellen.

Autodesk 123D Make ermöglicht die Umwandlung von 3D-Modellen in 2D-Objekte. So lassen sich einfach Baupläne für Lasercutter erstellen.

Eine Spaß-App ist Autodesk 123 Creature: Als Grundformen werden Monster geboten, die Anwender nach Belieben auf ihrem iPad weiterbearbeiten und sich anschließend drucken lassen können.

6.5 ViaCAD

Ich nutze selbst keine Kostenlos-Software, sondern habe mir eine gekauft, die meiner Einschätzung nach für die Konstruktion von sehr technischen Objekten gut geeignet ist. ViaCAD [5] ist ein recht preiswertes CAD-Programm – unter „preiswert“ für eine solche 3D-CAD-Software verstehe ich, dass sie weniger als 100 EUR kostet – mit Freiflächenmodellierung. Das heißt, das Programm erlaubt das dynamische Ziehen, Verdrehen, Verwinden und Verschieben von Objekten, ohne dass sich die Auflösung der Oberflächen ändert und Ecken sichtbar werden. Es verfügt

über einen nahezu professionellen Funktionsumfang. Von Sybex gibt es eine deutschsprachige Version für Windows und OS X.

6.6 Weitere Softwares

Ich habe jetzt nur kostenlose oder sehr preisgünstige Softwares genannt. Bei den jeweiligen Unternehmen, die mit 3D-CAD-Programmen konstruieren, wird manchmal Software für viele Tausend Euro gekauft, die den jeweiligen Bedarfen der Firmen entspricht. So werden AutoCAD, PTC Creo oder SolidWorks oft von Ingenieuren verwendet. Oder ArchiCAD von Architekten. Vectorworks wird sowohl von Architekten als auch von Designern genutzt. Rhinoceros ist bei Designern sehr beliebt, weil das Programm sich besonders gut für Rendering und Animation eignet. Für Hochschulen und Studenten gibt es preisgünstige Lizenzen.

Weitere Beispiele für industrielle Software sind SolidEdge, CATIA, Unigraphics oder Inventor. In den jeweiligen Industriebereichen, für die sie entwickelt wurde, ist die Software unverzichtbar. Teilweise bietet sie sogar automatische Stückzahlengenerierung oder Funktionen für Zeichnungsfreigabeprozesse. Für Privatanwender reicht meiner Ansicht nach eine preiswerte Software aus, die außerdem in der Regel intuitiv und leicht zu bedienen ist.

6.7 Softwares von 3D-Druck-Dienstleistern

Zusätzlich bieten die jeweiligen 3D-Druck-Dienstleister ihre eigenen Softwares und Apps an. Zum Beispiel hat 3D Systems Cubify Draw als kostenloses Angebot: eine mobile 3D-Druck-App für iOS. Jeder, der ein iPhone, iPad oder iPad Mini hat, kann mit den Fingerspitzen mittels Cubify Draw druckbare Dateien erzeugen. Diese können entweder sofort an Cubify zum Drucken geschickt werden. Oder Sie schicken sie an Cubify und erhalten sie als STL-Datei zurück, um sie selbst auszudrucken oder bei einem anderen Dienstleister drucken zu lassen. Cubify Draw ist im App Store als kostenloser Download erhältlich.

Mit Shapeways Creator stellt der 3D-Druck-Dienstleister Shapeways kostenlose Tools zur Verfügung, mit denen die Kunden konstruieren kön-

nen. Es gibt sowohl 2D- als auch 3D-Software, die auf der Grundlage jedes Schwarz-Weiß-Fotos oder Texts ermöglicht, ein digitales Objekt zu schaffen. Extra-Tools sind vorhanden, um sich damit Vasen, Figuren oder Schmuck herzustellen.

2013 ermöglichte eBay in den USA Nutzern, mit Hilfe einer iOS-App Produkte zu konfigurieren, um sich diese anschließend von 3D-Druck-Dienstleistern produzieren zu lassen. Mit der Software eBay Exact können Kunden zum Beispiel aus einer Auswahl iPhone-Hüllen, Schmuck oder kleine Figuren bestellen, die bei von eBay ausgewählten 3D-Druck-Dienstleistern gedruckt werden. Das Material und die Farbe für die zu druckenden Objekte dürfen die Kunden selbst festlegen.

Das sind nur Beispiele für Softwares, die 3D-Druck-Dienstleister mit ihrem immer besser werdenden Angebot, Kunden alles aus einer Hand zu bieten, auf den Markt gebracht haben.

- **Wichtig** Immer mehr 3D-Druck-Dienstleister bieten kostenlose Online-Workshops und -Tools an, die Interessierten dabei helfen, ihre eigenen druckbaren Modelle zu entwerfen und zu entwickeln. Das ist zum einen für die Nutzer sehr hilfreich, zum anderen aber auch eine vernünftige Geschäftsidee: Es wird dabei in der Regel gleichzeitig die Möglichkeit geboten, die im Online-Workshop konstruierten Modelle beim selben 3D-Druck-Dienstleister anschließend auszudrucken.

Literatur

1. www.blender.org
2. www.openscad.org
3. www.sketchup.com (Trimble SketchUp)
4. www.autodesk.de
5. www.punchcad.com (ViaCAD)

Tauschplattformen: fertige Modelle bekommen oder seine eigenen feilbieten – ein paar Tipps dazu

7

Zusammenfassung

Mehr und mehr Anwender finden Freude daran, mit 3D-Druck selbst zu produzieren. Durch die Möglichkeit, etwas zu drucken, was man gerade braucht oder als Design-Objekt geschaffen hat, werden neue Ideen im wörtlichen Sinn in Form gebracht. Auch der Austausch mit anderen, die ihre 3D-Modelle auf Open-Source-Plattformen wie zum Beispiel Thingiverse teilen, motiviert zur weiteren Entwicklung und neuen Einfällen.

Sobald Sie Spaß daran entwickelt haben, Ihre eigenen Modelle zu konstruieren, möchten Sie Ihre verwirklichten Ideen vielleicht auch anderen zugänglich machen. In diesem Kapitel gebe ich Ihnen einige Tipps dazu, wie Sie Ihre selbst entwickelten 3D-Modelle in einem Online-Shop zum Verkauf anbieten können.

7.1 Tauschplattformen im Internet

Im Juni 2013 waren auf der Tauschplattform Thingiverse bereits 100.000 Modelle eingestellt. Mehr als 28.000 Modelle waren zu diesem Zeitpunkt sogar frei verfügbar zum Download.

Viele 3D-Druck-Dienstleister – so zum Beispiel Shapeways, Sculpteo oder i.materialise – haben ihre eigenen Tauschplattformen. Zusätzlich attraktiv werden die Plattformen durch die ihnen angeschlossenen Shops, in denen Designer und Kleinserienhersteller die von ihnen geschaffenen Modelle zum Kauf anbieten können.

So wird auch Laien der Zugriff auf 3D-CAD-Modelle ermöglicht. Um sich etwas dreidimensional auszudrucken, ist es nicht einmal mehr erforderlich, sich mühsam in eine 3D-CAD-Software einzuarbeiten. Bei Tauschplattformen können alle möglichen Modelle zu teilweise sehr geringen Preisen erworben oder sogar kostenlos heruntergeladen werden. Ob Schmuck oder Modellspielzeug – alles steht zum 3D-Druck zur Verfügung. Die verschiedenen Tauschplattformen entwickeln sich enorm weiter.

7.2 In seinem eigenen Shop etwas anbieten

Meine eigene Firma [1] vertreibt unter anderem 3D-gedruckte Objekte mit dem Schwerpunkt Eisenbahnmodellbau. Es gibt noch einiges mehr, das wir konstruiert haben und zum Verkauf anbieten. Wichtig aber ist meiner Meinung nach, dass ein Verkäufer nicht einfach quer „von allem etwas“ anbietet, sondern dass eine Richtung und damit eine Spezialisierung zu erkennen ist. Irgendein Schwerpunkt, für welchen der Shop bekannt wird und nach dem die Kunden entsprechend suchen. Wie zum Beispiel in meiner Firma der Modellbau.

Da mein Sortiment klein und überschaubar ist, habe ich es in einem Katalog zusammengefasst und als PDF-Dokument auf meiner Firmen-Webseite hochgeladen. Das ist eine für mich einfache Lösung, meine Produkte anzubieten: Auf der eigenen Webseite mit allen Informationen und der eigenen Corporate Identity, aber ohne ein aufwendiges Shopsystem dafür pflegen zu müssen. Das Anbieten kostet nichts, und alles, was bestellt wird, wird direkt bei mir bezahlt. Das bietet jedoch nicht den Komfort, den die meisten Kunden heute im Web gewohnt sind.

7.3 Oder die 3D-gedruckten Objekte auf einer Tauschplattform vertreiben

Aus gutem Grund gern genutzt werden daher Internet-Plattformen, wie Shapeways oder andere, bei welchen auch Privatpersonen ihre Produkte einstellen und direkt verkaufen können.

Dafür erhält in der Regel der Plattformbetreiber eine kleine Provision. Weil ich meine 3D-gedruckten Modellbau-Objekte zufällig über Shapeways [2] verkaufe, schreibe ich hier beispielhaft über deren Verkaufsplattform. Immer mehr Plattformen bieten jedoch diesen Service zu vergleichbaren Bedingungen an. Seien dies Sculpteo oder i.materialise oder – eigentlich vor allen anderen – Thingiverse: Wer danach sucht, wird sicher noch viele weitere finden.

Nachdem Sie anhand eines Online-Leitfadens, der von den Plattformen zur Verfügung gestellt wird und meist intuitiv ist, Ihren Shop mit Name, Adresse und weiteren Angaben eingerichtet haben, kann es auch schon losgehen. Nun ist es nur noch erforderlich, die Dateien für die Modelle hochzuladen, eine kurze Beschreibung davon anzufertigen und einen Preis festzulegen. Verkaufsfördernd, aber nicht zwingend erforderlich, wäre noch ein Foto vom fertigen Bauteil. Falls Sie dieses schon einmal ausgedruckt haben und ein Foto vom 3D-gedruckten Bauteil besitzen, wird dem Interessenten eine viel bessere Vorstellung von dem Objekt vermittelt. Haben Sie das nicht, ist es keinesfalls ein Problem: Sobald die Datei hochgeladen und als druckbar erkannt worden ist, erscheint ein Bild davon, wie sie gedruckt aussehen könnte. Einen Grundpreis für das Modell gibt Shapeways vor. Aus einer breiten Palette von unterschiedlichen Bau-Materialien können Kunden das auswählen, in welchem sie das Objekt gern gedruckt hätten. Die Preise für die Bau-Materialien variieren. Die Materialauswahl können Sie jedoch selbst einschränken, wenn Sie der Ansicht sind, dass einzelne Materialien zu teuer oder für Ihr Modell ungeeignet sind.

Wer etwas an seinen Produkten verdienen will, hat die Option, einen beliebigen Wert auf den von Shapeways verlangten Grundpreis für das Modell aufzuschlagen. Das sollten Sie beim Einrichten des Shops auf keinen Fall vergessen. Bei der Preisfestlegung sollten Sie sich weder zu bescheiden noch zu profitorientiert verhalten. Zum einen möchten Sie für Ihre Arbeit bezahlt werden. Zum anderen darf das Objekt aber nicht zu teuer sein, weil es dann wahrscheinlich nicht genügend Käufer finden wird. Um einen realistischen Preis zu ermitteln, reicht es in der Regel schon, zwei oder drei Bekannte danach zu fragen, wie viel sie für das Modell auszugeben bereit wären.

Wenn Kunden über den Online-Shop bestellen, druckt und verschickt Shapeways die Objekte und schreibt außerdem die Rechnungen. Hat je-

mand im Shop etwas gekauft, erhält der Verkäufer eine Benachrichtigung. Abgerechnet wird über PayPal, wobei Shapeways zum Verdienst am Druck auch noch eine Verkaufsgebühr erhebt.

7.4 Der Erfolg soll nicht ausbleiben

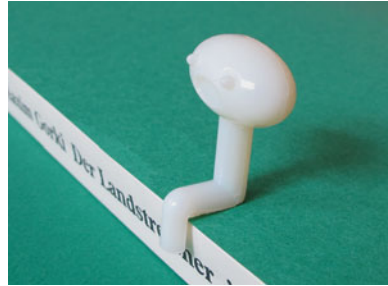
Zusammengefasst: Mein Vorschlag an alle, die 3D-Modelle zum Verkauf anbieten, ist der, zweigleisig zu fahren. Auf jeden Fall sollten Sie auf Ihrer eigenen Webseite etwas anbieten, aber dabei keineswegs Ihre Ausrichtung auf einen bestimmten Bereich verwässern lassen. Gleichzeitig kostet es neben dem anfänglichen Aufwand, den Shop einzurichten, normalerweise nichts, seine Modelle auf einer Plattform vorzustellen. Wenn diese selten oder nie gekauft werden, ist das enttäuschend. Allerdings sollten Sie Ihre Produkte auch ausreichend bekannt machen. Es kann aber genauso gut sein, dass die Objekte ein großer Verkaufserfolg werden – und in diesem Fall verdienen Sie, ohne täglich werben zu müssen, Ihr Geld sozusagen „im Schlaf“: Die Kunden bestellen beim Dienstleister, dieser kümmert sich um die Abwicklung – und Sie rufen gelegentlich das verdiente Geld ab. Die Zeit, die Sie dadurch einsparen, dass Sie sich weder um die Produktion noch die Abwicklung kümmern müssen, investieren Sie in neue Ideen.

Beispiel

Was kann man verkaufen? Beispielsweise diese in Abb. 7.1 dargestellte Gehirnzelle, die auf einem Buchrücken oder auf einem Computer-Bildschirm sitzen kann. „Braucht“ die jemand? Sie werden sich wundern, was Sie vielleicht verkaufen können. Vor allem können Sie selbst dabei nur gewinnen.

- **Wichtig** Sicher werden Sie jetzt nach Tauschplattformen suchen. Ein paar stelle ich hier kurz vor: So gibt es unter www.yeggi.com eine praktische Suchmaschine, die dabei hilft, 3D-CAD-Modelle zu finden. Dazu tippt man – wie bei fast allen Plattformen auf Englisch – zunächst die Art des gesuchten Modells ein. Daraufhin durchforstet der Search Engine alle möglichen Anbieter, beispielsweise Thingiverse, 3dprintingmodel, Ponoko usw. Natürlich

Abb. 7.1 Es lassen sich alle möglichen Modelle anbieten (Fasterpoly)



können Sie ebenso gut auf den jeweiligen Seiten, zum Beispiel unter www.thingiverse.com, selbst suchen. Aber es ist praktisch und spart Zeit, wenn eine einzige Suchmaschine direkt ein übersichtliches Angebot generiert. Bei der Suche wird angezeigt, ob das Download der Modelle etwas kostet oder nicht. Sehr viele Modelle sind kostenlos. Ein ähnliches Angebot gibt es unter www.freebie3d.com. Ein Freebie ist eine Art Werbegeschenk. So ist der Name der Webseite Programm: Es handelt sich um eine Suchmaschine, die kostenlos im Web nach kostenlosen 3D-Modellen sucht – in Bereichen wie Architektur über Möbel bis zu Militär. Recht interessant ist auch www.3dpartsource.com, ein Search Engine, mit dessen Hilfe sich speziell Industriebauteile finden lassen. So geben Sie ein Stichwort – zum Beispiel „Hammer“ – ein und finden unmittelbar das passende Modell dazu. Unter www.grabcad.com finden Sie eine Open-Engineering-Plattform, die Interessierten einige Werkzeuge und Informationen dazu bietet, um 3D-Objekte herzustellen. Außerdem können Sie dort kostenfreie 3D-Modelle herunterladen. Bei www.instructables.com handelt es sich um eine allgemeine Do-it-yourself-Seite. Hier lassen sich alle möglichen Open-Source-Modelle herunterladen. Und noch eine weitere Plattform zum Tauschen und Teilen: www.sketchfab.com.

Literatur

1. www.fasterpoly.de
2. www.shapeways.com

FabLabs – wie sich in offenen Werkstätten weitere Möglichkeiten erschließen

8

8.1 Demokratisierung der Produktion

FabLabs sind Hightech-Werkstätten für die Produktion, in welchen ein reger Austausch von Wissen und Know-how unter Kreativen, Bastlern sowie oft auch Ingenieuren oder Konstrukteuren stattfindet. Das Wort FabLab steht dabei als Abkürzung für Fabrication Laboratory – auf Deutsch: Fabrikations- oder auch Fertigungslabor. Zutritt hat jeder, der möchte, aber Kreative und Bastler stellen in den Industrieländern sicherlich die größte Anzahl von Interessenten, die das Angebot von FabLabs in Anspruch nehmen. Das meiner Einschätzung nach wichtigste Ziel der FabLabs ist die Demokratisierung der Produktion. Das wird unter anderem dadurch erreicht, dass jeder, der etwas herstellen möchte, gegen einen kleinen Beitrag Mitglied werden kann. Denn die FabLabs sind zumeist als gemeinnützige Vereine organisiert. So haben Privatpersonen Gelegenheit, in offenen Werkstätten industrielle Produktionsverfahren kennen zu lernen und – zunächst unter erläuternder Anleitung und im Anschluss daran selbstständig – zu nutzen. Zusätzlich finden in vielen FabLabs Workshops und Seminare statt. FabLabs sind damit Orte der Bildung und Wissensvermittlung. Neben 3D-Druckern stehen den Nutzern oft auch Scanner, Laser-Cutter oder CNC-Maschinen für die digitale Fertigung zur Verfügung.

Die Idee der FabLabs kommt ursprünglich aus den USA, wo im Jahr 2002 der Physiker und Informatiker Neil Gershenfeld am MediaLab des Massachusetts Institute of Technology (MIT) das erste FabLab der Welt gründete. Eine internationale FabLab Charter [1], die vom MIT verfasst



Abb. 8.1 Workshop im GarageLab, dem FabLab in Düsseldorf (Fasterpoly)

wurde, verpflichtet alle FabLabs der Welt dazu, sich an sechs festgelegte Regeln zu halten. So zum Beispiel ist der Beginn kommerzieller Aktivitäten im FabLab nicht ausgeschlossen, solange sie den Zugang zu den Werkstätten für andere Mitglieder nicht einschränken. Werden die kommerziellen Aktivitäten zu umfangreich, sollten sie jedoch außerhalb des FabLabs weiterverfolgt werden. Zudem ist erwünscht, dass das FabLab und alle, die zum Erfolg beigetragen haben, von diesen Aktivitäten profitieren können. Schwerpunkte der FabLab-Regeln sind der Gemeinsinn: Alle sollen die Geräte und Werkzeuge gemeinsam nutzen. Von Mentoren soll gelernt werden, aber wichtig ist außerdem, dass das Erlernte dokumentiert und an andere weitergegeben wird.

8.2 Weltweit entstehen immer mehr FabLabs

Seit 2002 sind in der ganzen Welt zahlreiche FabLabs entstanden, unter anderem in Afrika oder Asien. Insbesondere in diesen beiden Kontinenten erlangen FabLabs oft zusätzlich dadurch eine hohe Bedeutung, dass sie Nutzern dabei helfen können, lokale Probleme zu lösen. Sie ermöglichen den Besuchern Zugang zu sowohl Produktionstechnologien als auch Produktionswissen, das in vielen Regionen Afrikas und Asiens auf andere Art manchmal schwer zu erlangen wäre.

In Deutschland wurde an der RWTH Aachen im Jahr 2009 das erste FabLab eingerichtet. Seitdem ist sehr viel geschehen, und während ich dieses Buch schreibe, werden vermutlich schon die nächsten FabLabs gegründet. Mittlerweile gibt es in oder in der Umgebung vieler größerer Städte in Deutschland ein FabLab. Im deutschsprachigen Raum nimmt die Anzahl der FabLabs kontinuierlich zu. Abbildung 8.1 zeigt einen Workshop im GarageLab, dem Düsseldorfer FabLab.

Literatur

1. www.wiki.fablab.is/wiki/Fab_Charter

Zusammenfassung

Eine wachsende Anzahl von Messen beschäftigt sich mit 3D-Druck. In diesem Kapitel beschreibe ich die beiden am ausführlichsten, welche zum einen in Deutschland sind und zum anderen hier die längste Tradition haben: die EuroMold und die Rapid.Tech. Wenn Sie darüber nachdenken, sich einen eigenen 3D-Drucker zu kaufen oder die Maschinen in allen möglichen Größen mit allen denkbaren 3D-Druck-Technologien einmal „live“ bei der Arbeit zu sehen, sollten Sie auf jeden Fall eine dieser beiden Messen besuchen. Ich möchte jedoch auch die jungen Veranstaltungen, deren Zielgruppen Privatanwender sind, nicht vernachlässigen. So zum Beispiel die FabCon oder die MakeMunich. Und nicht zuletzt der Blick über den Tellerrand: Auch im Ausland gibt es zahlreiche Messen zu 3D-Druck. Ich nenne Ihnen hier nur zwei Beispiele als Tipps. Sicher ist, dass es jetzt schon viel mehr gibt und noch viele neue folgen werden.

9.1 EuroMold in Frankfurt am Main

In Frankfurt am Main findet im vierten Quartal des Jahres regelmäßig die EuroMold [1] statt: die Weltmesse für Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung. Veranstalter ist die DEMAT GmbH. Seit 1994 hat sich die EuroMold als eine weltweit führende Fachmesse etabliert. Das Konzept der Messe heißt: „Vom Design über den Prototyp bis zur Serie“. Mit in der Regel über 1000 Ausstellern und mehr als 55.000 Besuchern ist die EuroMold erheblich größer als die Rapid.Tech. Neben

3D-Druck-Anlagen finden Sie hier auch Gießereitechnik und alle möglichen Rapid-Prototyping-Anlagen.

9.2 Rapid.Tech in Erfurt

Jeweils im Mai findet seit 2004 in Erfurt die Rapid.Tech [2] – die Fachmesse und Anwendertagung für Rapid-Technologien – statt. Diese Messe fokussiert ausschließlich auf 3D-Druck und Rapid Prototyping. Sie ist kleiner, dafür aber familiärer und überschaubarer als die Euro-Mold. Schwerpunkt ist die industrielle Nutzung des 3D-Drucks, besonders die direkte Fertigung von Endprodukten und deren Komponenten. Die Aussteller zeigen auf der Rapid.Tech ihre Produkte, Maschinen und Dienstleistungen rund um das Thema generative Fertigung. Zudem informieren Experten aus verschiedenen Ländern in Vorträgen über neueste Ergebnisse, Trends und Anwendungen von additiven Fertigungstechnologien.

9.3 FabCon 3.D – ebenfalls in Erfurt

Im Rahmen der Rapid.Tech wurde vom 14. bis 15. Mai 2013 zum ersten Mal die FabCon 3.D [3] veranstaltet. Aussteller bei dieser ersten Personal Fabrication Convention waren zahlreiche Anbieter von 3D-Druckern für den semiprofessionellen Anwender sowie viele 3D-Druck-Dienstleister. Die FabCon 3.D will damit private Nutzer von 3D-Druck-Technologien ansprechen – und könnte deshalb gerade für Privatanwender zusätzlich interessant sein. Da FabCon 3.D und Rapid.Tech auf demselben Gelände der Messe Erfurt stattfinden, lohnt es sich einfach, bei einem Besuch der Rapid.Tech auch die kleinere Sondermesse zu besuchen.

9.4 Maker Faire Hannover und MakeMunich

In den USA fand der erste *Maker Faire* bereits 2006 in Kalifornien statt. Mittlerweile werden weltweit Maker Faires organisiert. Ziel dieser Veranstaltungen ist, dass sie nicht kommerziell sind, sondern Menschen mit

ihren Ideen und Projekten zusammenbringen. Teil der Maker Faires ist auch 3D-Druck.

Im August 2013 wurde in Hannover von der Zeitschrift c't/Hardware Hacks ein Maker Faire [4] veranstaltet. Nach Aussagen der Veranstalter nicht als Technikkonferenz, sondern als „eine Messe, auf der Maker, Bastler, Erfinder, Tüftler, Hacker und Künstler ihre Projekte präsentieren können.“ Mit nahezu 5000 Besuchern war das Event ein großer Erfolg. Mit Sicherheit werden in Deutschland weitere Maker Faires, bei denen sich Maker und Tüftler austauschen werden, stattfinden.

In München gab es im April 2013 zum ersten Mal die Make Munich. Ihre erste erfolgreiche Messe beschreiben die Veranstalter so: „Die Make Munich schaffte es erstmalig in Süddeutschland, den in ganz Deutschland agierenden Makern eine Plattform zum Austausch zu ermöglichen und sie in Form einer familienfreundlichen, bunten, zweitägigen Messe der Öffentlichkeit zu präsentieren. Die Lust am Selbermachen taucht heutzutage mit dem Wunsch nach mehr Individualität auf. Der kreative Umgang mit Technik ist ein weiterer Weg, sich in modernen Zeiten wieder zu mehr Selbstbestimmung zu verhelfen. Diese Bedürfnisse bringen weltweit immer mehr FabLabs und Hackerspaces sowie künstlerisch tätige Individuen hervor. Wir möchten all jenen ein einzigartiges Forum zur Verfügung stellen. Wir bringen Technik-Enthusiasten und interessierte Menschen zusammen.“ [5]

9.5 3D Print Show

In London fand 2012 zum ersten Mal die Messe 3D Print Show [6] statt. Wegen des großen Erfolgs direkt im ersten Jahr wurde sie schon 2013 auf weitere Länder erweitert. Nicht nur stellen auf dieser Messe zahlreiche Künstler ihre mittels 3D-Druck geschaffenen Kunstwerke aus, sondern ebenso werden Seminare, Workshops und Runde Tische zu 3D-Druck angeboten. Auch die großen Hersteller von 3D-Druckern sowie 3D-Druck-Dienstleister sind dort vertreten. Neben einer Kunstaussstellung werden außergewöhnliche Produkte sowie innovative oder einfach nur Spaß machende Objekte für den Alltag vorgestellt. Medizin, Bildung und Mode sind großen Themen. Das Zielpublikum für diese Messe ist Fachpublikum ebenso wie interessierte Privatpersonen.

9.6 3D Printing Event – Messe Eindhoven/Niederlande

Fast eine ganze Woche lang dauert das 3D Printing Event [7] in Eindhoven/Niederlande. Dabei gibt es Workshops, Vorträge und Ausstellungen zu allen möglichen Bereichen, die mit 3D-Druck zu tun haben.

Literatur

1. www.euromold.com
2. www.rapidtech.de
3. www.fabcon-germany.com
4. www.de.amiando.com/makerfaire2013.html?page=914341
5. www.make-munich.de
6. www.3dprintshow.com
7. www.3dprintingevent.com

3D-Druck-Dienstleister oder eigener 3D-Drucker – was spricht wofür? 10

Zusammenfassung

Bei der gegenwärtigen großen Aufmerksamkeit, die 3D-Druck genießt, denken einige von Ihnen vielleicht darüber nach, sich ihren eigenen 3D-Drucker für zu Hause zu kaufen. Es liegt sicher für manche im Rahmen des Vorstellbaren, 500 bis 2000 EUR zu investieren, um eine eigene kleine Maschine für sich produzieren zu lassen. Oder ist es doch sinnvoller, auf einen 3D-Druck-Dienstleister zurückzugreifen? In diesem Kapitel erörtere ich dazu das Für und Wider.

10.1 Ein klares „Ja“ zum eigenen 3D-Drucker?

Wer Tüftler, Bastler, Erfinder oder Entwickler ist, dem beantwortet sich die Frage nach dem Drucker-Kauf vermutlich von ganz allein mit einem klaren „Ja“. An seinem eigenen 3D-Drucker jederzeit zu experimentieren, die konstruierten Modelle nach Bedarf verändern, umkonstruieren, erneut produzieren zu können, ist sehr attraktiv. Wer für andere mitproduziert oder seine Bauteile als Kleinserien verkaufen kann, hat die Investition für einen preiswerten 3D-Drucker – wie zum Beispiel den Ultimaker, den Orcabot, den Protos oder den MakerBot – schnell wieder eingeholt.

10.2 Oder doch nur „Vielleicht“?

Spricht auch etwas gegen die Anschaffung eines eigenen 3D-Druckers – vorausgesetzt sei jetzt immer, dass Sie sich zum einen sehr intensiv und kreativ damit beschäftigen möchten und zum anderen 500 bis 2000 EUR zu investieren bereit sind?

Ich meine: ja, wenn auch nicht sehr viel. Das Folgende sind nur Überlegungen, die sicher niemanden von einem festen Entschluss, einen 3D-Drucker zu erwerben, abhalten werden.

10.3 Einige gute Gründe dafür, einen 3D-Druck-Dienstleister zu beauftragen

Ein eindeutiger Nachteil ist, dass Sie mit einem eigenen 3D-Drucker auf ein einziges Verfahren eingeschränkt sind. Bei den preisgünstigeren Druckern ist das in der Regel das FDM (Fused Deposition Modeling)-Verfahren, bei welchem ein Kunststofffaden geschmolzen wird. Wie jedes Verfahren, so hat auch dieses seine Vor- und Nachteile. Vorteile zum Beispiel sind die Stabilität des Bau-Materials und sein geringer Preis. Andere 3D-Druck-Herstellungsverfahren bieten jedoch oft eine feinere Oberfläche. Aber ungeachtet dessen: Der Nachteil daran, einen eigenen 3D-Drucker zu haben, ist neben den Wartungs- und Instandhaltungskosten – die auch dann entstehen, wenn Sie ihn selten oder gar nicht nutzen –, dass Sie nur auf ein Druck-Verfahren zurückgreifen können. Wer nicht dauerproduziert und Modelle entwickelt, ist oft besser beraten, seine Modelle an einen 3D-Druck-Dienstleister zu schicken und sich diese dort in einem beliebigen Verfahren produzieren zu lassen. Oder in abwechselnden Verfahren – abhängig allein davon, welches sich für ein bestimmtes Modell am besten eignet. Brauchen Sie gerade ein kleines Teil mit einer feinen Auflösung, das sich im PolyJet-Verfahren drucken lässt? Oder haben Sie sich soeben eine Kühlerhaube als Prototyp konstruiert, für die sich allein wegen der Größe kaum ein anderes Verfahren als das Selektive Lasersintern eignet? Auch die Bau-Materialien, die Dienstleister anbieten, sind vielfältig. So können Sie bei einigen mittlerweile schon in Gold oder Silber 3D-drucken lassen.

10.4 Wenn Sie einen 3D-Drucker kaufen möchten: Nehmen Sie sich genug Zeit dafür!

Wenn Sie mehr Geld investieren möchten und sich vielleicht als mittelständisches Architekturbüro eine bürotaugliche kleine Industriemaschine zu erwerben überlegen: Lassen Sie sich mit der Auswahl etwas Zeit. Sehr sinnvoll ist es, sich vor dem Kauf ein Benchmark mit einem von Ihnen in die engere Wahl gezogenen 3D-Drucker produzieren zu lassen. Schicken Sie dem Hersteller dazu ein typisches 3D-Modell, wie es in Ihrer Branche gedruckt würde. So können Sie sicher sein, dass der 3D-Drucker sich für genau die Modelle eignet, die Sie damit fertigen möchten. Die Hersteller drucken Ihnen in der Regel gern ein kostenfreies Muster Ihres eigenen 3D-CAD-Modells aus.

Selbstverständlich stellen die Hersteller Ihnen auch Musterbauteile zur Verfügung. Zum einen aber sind diese Musterbauteile oft so entworfen, dass sie für das jeweilige 3D-Druck-Verfahren ungünstige Geometrien vermeiden. Zum anderen können Sie, wenn Sie sich Ihre eigenen Modelle als Muster fertigen lassen, mit den Ihnen bekannten Abmessungen etwaige Abweichungen ermitteln. Lassen Sie sich vom Hersteller neben den Kosten für die Verbrauchsmaterialien auch die Energiekosten und die Baugeschwindigkeit der Maschine sowie den Nachbearbeitungsaufwand der gedruckten Bauteile möglichst genau nennen. Auch sollten Sie den Preis für Verschleißteile der Maschinen, wie zum Beispiel Laser oder Druckköpfe, erfragen.

- **Wichtig** Um potenziellen Kunden ihre Technologie zu vermitteln und außerdem ihre Maschinen vorzustellen, bieten mehr und mehr Hersteller von 3D-Druckern kostenlose Webinars an. Das sind Seminare, die über das World Wide Web gehalten werden. Wenngleich der Interessen-Schwerpunkt der Hersteller sicher darauf liegt, ihre Maschinen zu vertreiben, lohnt sich die Teilnahme an diesen kostenlosen Seminaren in jedem Fall, um sich über die 3D-Druck-Technologie zu informieren.

- **Wichtig** Die Webseite www.3ddruckpreisvergleich.de bietet einen Online-Preisvergleich von einigen 3D-Druck-Dienstleistern: Sie müssen dazu nur die STL-Datei hochladen und das Material auswählen. Daraufhin erhalten Sie Produktionskosten und Lieferzeiten von i.materialise, Sculpteo, Shapeways usw. – und können diese vergleichen.

Zusammenfassung

Bei der extrem schnellen Entwicklung auf dem Markt wäre es sehr voreilig, die eine oder andere 3D-Drucker-Marke zu empfehlen. Am wichtigsten ist es, dass Sie sich zuerst darüber im Klaren werden, wofür Sie den 3D-Drucker brauchen und welches Leistungsspektrum Sie sich wünschen. Soll es ein Open-Source-3D-Drucker im Rahmen von 500 bis maximal 5000 EUR sein? Oder doch vielleicht eine Profi-Anlage, die deutlich über diesem Preis liegt? Bürotaugliche Profi-Anlagen können Sie ab 10.000 EUR bekommen. Nach oben sind keine Grenzen gesetzt, aber es bleibt zu überlegen, ob sich eine hohe Investition vom Kosten-Nutzen-Aufwand für ein kleines oder mittleres Unternehmen lohnt. Mit einer „bürotauglichen“ 3D-Druck-Anlage meine ich eine Maschine, die auf einem größeren Schreibtisch Platz finden kann und so produziert, dass keine aufwendigen Arbeitsschutzmaßnahmen erforderlich werden. Ob Sie in dem Raum, in welchem der 3D-Drucker druckt, arbeiten können oder möchten, hängt von der jeweiligen Maschine ab. Die meisten Menschen arbeiten auch nicht gern in einem Raum, in welchem den ganzen Tag ein Fotokopierer läuft. Als „bürotauglich“ bezeichne ich deshalb die 3D-Drucker, von denen keine größere Geräusch- und Geruchsbelästigung ausgeht als von einem herkömmlichen Fotokopierer.

11.1 Open-Source-3D-Drucker – vom Anfang bis zur Gegenwart

11.1.1 Zur Entstehungsgeschichte der Open-Source-3D-Drucker

Open-Source-3D-Drucker sind erheblich preisgünstiger als kleine Profi- oder Industriemaschinen. Um zu erklären, wie sich Open-Source-3D-Drucker entwickelt haben, muss ich weiter ausholen.

Der Drucker mit dem Namen RepRap war der erste 3D-Drucker, der als Open-Source-3D-Drucker bekannt wurde. Daraus dass der RepRap in der Lage ist, die zu seinem Bau erforderlichen Kunststoffteile selbst zu produzieren, ergibt sich sein Name: Replicating Rapid Prototyper – RepRap –, der sich selbst replizieren, das heißt vervielfältigen kann. Weil sowohl die Baupläne für den 3D-Drucker als auch die erforderliche Software als Open Source zur Verfügung stehen, ist es jedem gestattet, ihn nachzubauen oder weiterzuentwickeln.

Besonders sympathisch wirkt die Grundidee, aus welcher der RepRap-Drucker entstand: Adrian Bowyer, Ingenieur und Mathematiker, lehrte 2004 Maschinenbau an der Universität Bath in England, als er das Manifest „Wealth without money“ (auf Deutsch etwa: Wohlstand ohne Geld) veröffentlichte. Grundgedanke dieses Aufsatzes ist es, dass Geld an sich keinen Wert habe und nur ein Mittel zum Zweck sei. Geld ermögliche jedem, der darüber verfüge, das zu erwerben, was andere produziert haben. Wenn nun jeder Mensch Zugang zu einem 3D-Drucker wie dem RepRap hätte, könnte er das, was er braucht, selbst herstellen. So würde Geld überflüssig. Wohlstand – in dem Sinne, dass alles, was der Einzelne zu einem Leben benötigt, ihm zur Verfügung stünde – wäre sogar für diejenigen erreichbar, die gar kein Geld besäßen. Ziel wäre es, die Menschen von der Industrie unabhängig zu machen. Weil sie all das, was gegenwärtig aus den Fabriken kommt, selbst herstellen könnten.

Es folgten viele neue 3D-Drucker dieser Art, schon fertig montiert oder als Bausätze zum Selbstzusammenbau. Mit RepRaps werden inzwischen ganze Musikinstrumente gedruckt. Dabei wird mit allen möglichen Bau-Materialien experimentiert und sogar versucht, Blutgefäße mit Hilfe von RepRaps zu drucken.

Auf Basis des RepRapPro Mono Mendel entwickelte das von Adrian Bowyer geführte Unternehmen RepRapPro im Jahr 2013 einen Open-Source-3D-Drucker, der mittels seiner drei Druckköpfe drei verschiedene Filamente, also drei unterschiedliche Farben, in einem Druckvorgang verwenden kann.

11.1.2 Was sollten Sie beim Kauf eines Open-Source-3D-Druckers beachten?

Mittlerweile gibt es zahlreiche Open-Source-3D-Drucker. In der Regel sind sie zu Preisen ab rund 500 EUR zu erwerben. Ganz sicher ist, dass es immer mehr werden. Aus diesem Grund möchte ich Ihnen keinen speziell empfehlen, weil noch während ich dies schreibe, vermutlich schon ein Tüftler dabei ist, einen noch besseren, noch preisgünstigeren, gerade für Ihre Bedürfnisse viel geeigneteren 3D-Drucker auf den Markt zu bringen. Die Maschinen werden ständig optimiert, so dass die Auswahl schwer fällt.

Zudem kenne ich verschiedene Besitzer von 3D-Druckern für den Hausgebrauch, von denen der eine den Ultimaker, der Nächste den OrcaBot und der Dritte den Protos für eindeutig den besten hält und das auch mit persönlichen Beispielen belegt. Durch Open Source haben Sie den Vorteil, dass Sie kostenlos an allen Verbesserungen teilhaben und – wenn Sie möchten – selbst mitverbessern können. Bei Fragen zum Drucker finden Sie im Internet immer ein Forum von Hilfswilligen. Wenn Sie beabsichtigen, sich einen 3D-Drucker für den Hausgebrauch zu beschaffen, ist ein Seminar zum Selbstzusammenbau sehr nützlich. Das heißt: In einem Wochenendseminar bauen Sie unter fachgerechter Anleitung den 3D-Drucker zusammen, um ihn anschließend mit nach Hause zu nehmen. Der Preis für diese Workshops entspricht oft dem, was der 3D-Drucker kosten würde, wenn Sie ihn bereits fertig zusammengebaut bestellen. Der Vorteil an einer Workshop-Teilnahme ist, dass Sie danach jede Schraube Ihrer eigenen Maschine genau kennen und durch das Learning by Doing in dem Workshop gleich sehr viel an Wissen über den eigenen 3D-Drucker sowie über das 3D-Drucken überhaupt mitnehmen. Viele der Hersteller bieten solche Seminare an. So zum Beispiel

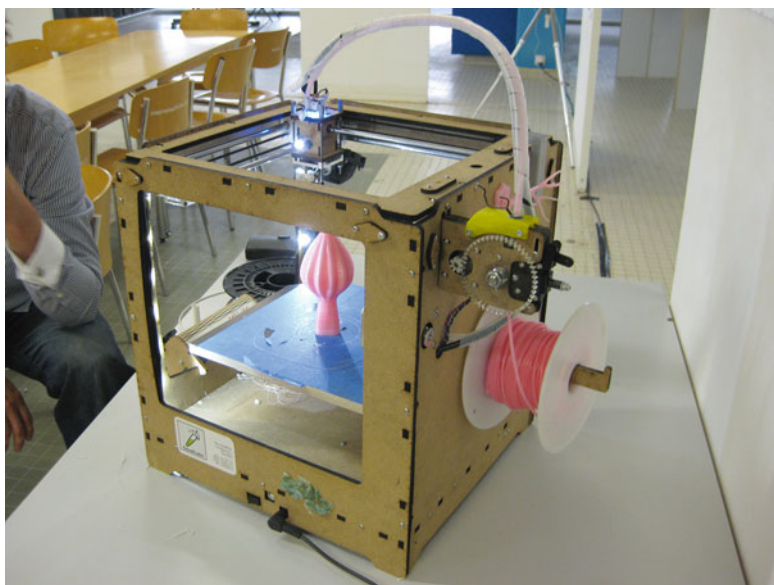


Abb. 11.1 Beispiel für einen Open-Source-3D-Drucker; das Bau-Material (Filament) sind die aufgerollten rosa Kunststoffäden (Fasterpoly)

die German RepRap GmbH in München, bei der man in einem Seminar deren selbst produzierte 3D-Drucker zusammenbauen kann. Dort gibt es ebenfalls einen Kurs, der sich an alle diejenigen richtet, welche die Anschaffung eines 3D-Druckers erwägen, aber vorher gern einmal einen Tag lang einen ausprobieren möchten. An einem Tag kann man dabei unter Anleitung eigene Modelle ausdrucken und erste praktische Erfahrungen mit einem RepRap-Drucker sammeln, um sich anschließend zu entscheiden, ob die Anschaffung dieses 3D-Druckers überhaupt sinnvoll ist. Sehr viele FabLabs bieten ebenfalls Seminare zum Zusammenbau von 3D-Druckern an. Abbildung 11.1 zeigt einen Open-Source-3D-Drucker – hier den Ultimaker (www.ultimaker.com) – bei der Arbeit.

11.2 Oder eignet sich für Sie ein Closed-Source-3D-Drucker oder sogar eine Profi-3D-Druck-Anlage?

Die derzeit dominierenden Hersteller von professionellen 3D-Druck-Anlagen sind die US-amerikanischen Unternehmen 3D Systems (www.3dsystems.com) und Stratasys (www.stratasys.com). Bei beiden können Sie 3D-Druck-Anlagen in allen vorstellbaren Preiskategorien kaufen, und auch bei den verschiedenen 3D-Druck-Technologien haben Sie eine überwältigende Auswahl. Es wird schwierig, diese ein wenig einzuschränken. Da ich direkt am Anfang die zwei großen Hersteller erwähnt habe, möchte ich Ihnen auch sofort jeweils ein Produkt von diesen vorstellen, für das Sie sich entscheiden könnten: Den MakerBot Replicator 2X von Stratasys oder den CubeX von 3D Systems. Beide arbeiten mit dem FDM-Verfahren, beide haben keine besonderen Anforderungen an den Aufstellungsort. Der CubeX druckt mit eigenen Kunststofffäden von der Rolle und arbeitet mit einem sauber geschlossenen Kartuschen-system. Das ist im Gebrauch kostspieliger als das bei den meisten der vergleichbaren Drucker verwendete Filament. Für vergleichbar – sowohl von der Druck-Qualität als auch vom Preis – halte ich derzeit den MakerBot Replicator 2X und den CubeX mit vielen Open-Source-Maschinen. Nur dass sie eben nicht Open Source sind. Dafür haben Sie den Vorteil, dass der 3D-Drucker fertig zu Ihnen kommt, Sie wissen genau, welche Qualität Sie erwarten können und haben den Support eines renommierten Herstellers. Dass mittlerweile 3D-Drucker dieser Art über den Elektronik-Versandhandel oder im Baumarkt angeboten werden, bedeutet wohl, dass die Hersteller diese Maschinen für solide genug entwickelt und ausgereift halten, um sie dem großen potenziellen Markt der Privatanwender zu verkaufen. Der CubeX erfreut viele mit seinem schlichten Industriedesign – wie sein Name sagt, sieht er ein wenig aus wie ein Würfel. Die meisten anderen kleinen 3D-Drucker wirken dagegen eher grob. Verschiedene Elektronikhändler vertreiben den 3D-Drucker Fabbster (www.fabbster.de), den der deutsche Hersteller Sintermask anbietet. Dieser kann neben dem üblichen ABS und PLA auch Bau-Materialien wie flexible und holzartige Kunststoffe verarbeiten. Preislich liegt er günstiger als der MakerBot Replicator 2X und

Abb. 11.2 Der 3D-Drucker
Objet30 Pro (Stratasys)



der CubeX – allerdings wird der Fabbster als teilmontierter Bausatz vertrieben. Sein Bau-Material sind Sticks, mit denen er gefüttert wird. Die Technologie nennt sich Stick Deposition Molding (SDM) und ist in Kap. 5 zu den verschiedenen 3D-Druck-Technologien ausführlich beschrieben.

Immer wieder gern empfehle ich den Objet24 oder den Objet30 Pro der Firma Stratasys. Ich habe lange auf einer kleinen Objet-Anlage produziert und sie als sehr bedienerfreundlich erlebt. Wenn Sie sich Abb. 11.2 ansehen, werden Sie feststellen, dass der Drucker tatsächlich ein wenig an einen Fotokopierer erinnert, dessen Haube sich auf- und zuklappen lässt. Diese Maschinen arbeiten mit dem PolyJet-Verfahren. Selbst der Luxus-Autohersteller Bentley Motors Ltd. nutzt einen Objet30-Pro-3D-Drucker in seinem Design-Studio, um damit Autoteile als Prototypen auszudrucken [1].

Allein für den Hausgebrauch sind sie zu teuer, aber für ein kleines oder mittleres Unternehmen wird sich die Investition von rund 20.000 EUR für eine solche Anlage möglicherweise rechnen. Das setzt jedoch voraus, dass regelmäßig Teile eines recht ähnlichen Typs, das

heißt mit einem ähnlichen 3D-Druckverfahren, produziert werden sollen.

Mehr und mehr verbreitet sich in Deutschland die Überzeugung, dass die Zukunftstechnologie 3D-Druck ihren Weg nicht allein in die Universitäten, sondern schon vorher in die Schulen finden muss. In der Praxis veranlasst das die professionellen Hersteller der Maschinen, einige ihrer 3D-Drucker als preiswerte Gesamtpakete, die in einem definierten Rahmen sowohl Wartung als auch Material einschließen, für den Bildungsbereich anzubieten. So zum Beispiel gibt es den Objet30 Scholar von Stratasys, der so viel leistet wie der Objet30 Pro, aber zu einem Sonderpreis an Schulen verkauft wird.

Betrachten Sie diese Auflistungen von Marken nur als richtungsweisende Empfehlungen. In der nächsten Zeit werden sicher weitere 3D-Drucker auf den Markt gebracht werden, so dass Sie sich am besten bei den Herstellern beraten lassen. Sehr wichtig ist aber, dass Sie bereits vor dem Kauf entscheiden, was Sie mit dem Drucker herstellen und welche 3D-Druck-Technologie Sie nutzen wollen.

- **Wichtig** Eine Preisvergleichsseite für 3D-Drucker (Angaben in US-Dollar) findet sich unter www.3ders.org/pricecompare/3dprinters.

Literatur

1. www.3ders.org/articles/20130912-inside-luxury-bentley-uses-stratasys-3d-printing-in-car-design.html

Zusammenfassung

Jeder kennt mittlerweile zweidimensionales Scannen. In vielen Privathaushalten steht ein Scanner auf dem Schreibtisch oder ist direkt schon in den Drucker integriert. Beim zweidimensionalen Scannen wird die Textur von Gegenständen digital erfasst – jedoch nur auf einer Ebene. Die Helligkeit der Bildpunkte wird sowohl in einem horizontalen als auch in einem vertikalen Raster aufgenommen. Damit enthält das fertige Bild Pixel ohne eine Tiefeninformation. Legte man ein dreidimensionales Teil auf einen 2D-Scanner, so würden beim Einscannen die weiter entfernten Bereiche zumeist nur unscharf erfasst. Dieses Kapitel geht darauf ein, wie 3D-Scannen funktioniert. Außerdem wird an einigen Beispielen aus der Industrie und der Kultur aufgezeigt, dass die Technologie inzwischen unverzichtbar geworden ist. Besonders ausführlich möchte ich jedoch darauf eingehen und erläutern, was Sie als Privatanwender jetzt schon mit 3D-Scannen anfangen können und wie es sich sehr schnell weiterentwickeln wird.

12.1 Wie funktioniert 3D-Scannen?

Ziel des dreidimensionalen Scannens ist es, die räumliche Anordnung der Oberfläche eines Objekts richtig aufzunehmen. Mit anderen Worten: Mit Hilfe von Laserstrahlen wird beim dreidimensionalen Scannen die Oberflächengeometrie von Objekten digital erfasst. Ebenso kann ein *3D-Scanner* die Geometrie eines Objekts als dreidimensionale *Punktwolke* aufnehmen – dadurch, dass ein Taster als Roboterarm oder manuell über

das Objekt bewegt wird. Die erfasste Punktwolke ist eine Menge von dreidimensionalen Abtastpunkten. Zusätzlich zu dem vom 2D-Scannen bekannten horizontalen und vertikalen Raster kommt beim 3D-Scannen noch das Tiefenraster hinzu. Als kleinste Auflösung gilt hier statt des Pixels das Voxel. Zu einem Referenzpunkt des Scanners, der Ursprung genannt wird, werden aus den Winkeln und der Entfernung die Koordinaten der gemessenen Punkte ermittelt. Einzelmaße – seien dies Längen oder Winkel – werden anhand der Punktwolke bestimmt. Ebenfalls lässt sich ein Polygonnetz, das heißt eine geschlossene Oberfläche aus Dreiecken, aus einer Punktwolke konstruieren. Ist dies geschehen, können Sie die Datei am Computer weiterbearbeiten und für den 3D-Druck als STL-Datei exportieren. Sollten beim Scannen Fehler, wie beispielsweise Löcher, entstanden sein, können diese im Anschluss mit einer Reparatursoftware, wie in Kap. 3 beschrieben, ausgebessert werden.

Mit 3D-Scannern ist es möglich, Objekte in fast jeder Größe zu digitalisieren. Bei sehr großen Objekten – wie zum Beispiel Autos und Eisenbahnzügen – ist der Aufwand jedoch erheblich höher als bei kleinen Objekten. Um die eingescannten Datenmengen einigermaßen überschaubar zu halten, wird deshalb bei größeren Objekten meist eine geringere Auflösung als bei kleineren gewählt. Damit wird gleichzeitig die Genauigkeit geringer.

Einen einzelnen Voxel zu scannen dauert nur den Bruchteil einer Sekunde. Zur 3D-Vermessung ist jedoch eine Vielzahl von Messungen notwendig. Hierbei ist die benötigte Zeit sowohl von der Objektgröße als auch von der Auflösungsanforderung und der Objektgeometrie abhängig.

Fast alle 3D-Scanner arbeiten mittlerweile berührungsfrei, so dass selbst sehr fragile oder komplexe Objekte eingescannt werden können, ohne dass die Gefahr besteht, sie zu beschädigen.

12.2 Einsatz von 3D-Scannern in allen Bereichen – nicht nur in der Industrie

Auf nahezu jedem Gebiet gewinnen 3D-Scans an Bedeutung. Für die Industrie ist 3D-Scannen unentbehrlich: Eingescannte Muster und Prototypen können mittels dieser Technik digital gespeichert und vermessen

werden. Insbesondere in der Medizintechnik ist 3D-Scannen alltäglich, beispielsweise bei der Computertomografie. Ebenfalls wird die 3D-Scan-Technologie dazu verwendet, Nachbildungen von Knochenstrukturen zu erzeugen. Um Zähne zur Herstellung von Zahnprothesen einzuscannen, sind Scanner mittlerweile eine Selbstverständlichkeit. Auch Hörgeräte werden heute mit 3D-Druck hergestellt. Mit einem 3D-Scanner wird dafür zuvor das Innere des menschlichen Ohrs gescannt. Der Scanner ist mit einer Kamera zum Navigieren im Ohr ausgestattet und das 3D-Modell des Gehörgangs wird anhand der Scan-Daten errechnet. Ebenfalls in der Architektur, der Kunst und der Denkmalpflege nimmt die Nutzung von 3D-Scannen zu. Die Digitalisierung von Kunstwerken dient Museen dazu, Artefakte zu vervollständigen und nachzubilden. So restauriert zum Beispiel die chinesische Regierung die Verbotene Stadt in Peking. In Zusammenarbeit mit der britischen Loughborough University werden bei diesem Projekt zunächst Artefakte mit Hilfe von 3D-Scannern eingelesen, um später auf der Basis dieser Modelle weiterarbeiten zu können [1].

12.3 3D-Scannen – immer einfacher

Scannen wird auch für Privatpersonen zunehmend einfacher: Schon Anfang 2011 hat das Unternehmen Microsoft die Hardware Kinect entwickelt. Diese war ursprünglich als Hardware zur Steuerung der Xbox-360-Konsole gedacht. Einige einfallsreiche Techniker kamen aber auf die Idee, Microsoft Kinect als 3D-Scanner zu verwenden: Der 3D-Sensor von Kinect erfasst in Echtzeit das Objekt von allen Seiten und schafft so von dem Modell ein komplettes 3D-Objekt. Die Hardware kann mit verschiedenen Softwares benutzt werden, so dass sich STL-Daten damit erzeugen lassen.

Mittlerweile hat Microsoft die Version 1.7 von Kinect für Windows-SDK zum Download [2] freigegeben. So wird es Programmierern möglich, die Daten der zahlreichen Sensoren der Tiefenkamera Kinect in ihre eigenen Windows-Anwendungen zu integrieren. Als besonders sinnvoll und nützlich erweist sich diese Anwendung für die berührungslose Steuerung von Software, wie zum Beispiel auf großen Displays in Ausstellungen oder Museen und zur Erfassung von 3D-Modellen.

Teil des Gesamtpakets ist Microsofts eigener 3D-Echtzeitscanner für die Kinect: KinectFusion. Wer zuvor die Kinect als 3D-Scanner verwenden wollte, musste dazu Software anderer Anbieter, beispielsweise ReconstructMe, nutzen. Inzwischen ist der Zugriff für Programmierer auf die 3D-Echtzeitdaten aus KinectFusion über das SDK direkt über Code in C++ und C# möglich.

Mehr und mehr werden auch die Hersteller auf den Kundenbedarf an Scannern reagieren. MakerBot/Stratasys hat im Herbst des Jahres 2013 mit dem MakerBot Digitizer einen 3D-Scanner auf den Markt gebracht, der kleinere Objekte automatisch abtasten kann. Durchmesser und Höhe der Gegenstände dürfen nicht mehr als 20 Zentimeter betragen. Zum Scannen fokussieren zwei Laser und eine Kamera auf eine drehbare Plattform. Der Laser markiert die Objekte auf der Plattform, die Kamera erfasst sie. Schließlich wird mit Hilfe einer Software eine Punktwolke errechnet. Vorkenntnisse in Design oder Konstruktion oder auch nur CAD-Kenntnisse sind nicht erforderlich, um den 3D-Scanner nutzen und druckbare Modelle damit erzeugen zu können. Dieser Desktop-Scanner scannt jedoch nur Konturen und nicht die Farben der Oberflächen.

Die Anleitungen zu Selbstbau-Scannern – die anschließend auf Open-Source-Plattformen wie zum Beispiel Thingiverse der Öffentlichkeit zum Nachbau und zur Optimierung freigegeben werden – werden vermutlich weiter zunehmen.

Beispiel: 3D-Scanner (Eigenbau)

Eine kostenlose Anleitung dazu, sich einen eigenen Scanner zu bauen, bietet die Webseite www.hackengineer.com mit einer Kinect-ähnlichen Kamera.

Ebenfalls für Bastler gibt es den Open-Source-3D-Scanner Fab-Scan, der ähnlich wie der MakerBot Digitizer funktioniert, aber nur mit einem Laser. Er ist an der RWTH Aachen entwickelt worden und lässt sich für rund 100 EUR bauen: www.hci.rwth-aachen.de/fabscan.

12.4 Sich selbst dreidimensional scannen lassen

Was besonders viel Spaß macht, ist, sich selbst scannen und anschließend seinen eigenen Kopf reproduzieren zu lassen. Dazu möchte ich

Ihnen mein eigenes Beispiel zeigen: Ich habe mich auf der Rapid.Tech-Messe 2013 mit dem FabliTec-3D-Scanner am Stand der German Rep-Rap GmbH [3] einscannen lassen. Das Scannen dauerte nur ein paar Sekunden. Ich nahm dafür auf einem Drehstuhl Platz und wurde einmal langsam im Kreis gedreht, damit eine Aufnahme von allen Seiten entstehen konnte.

Die FabliTec Unternehmergesellschaft, welche diesen Scanner [4] entwickelt hat, wurde erst im März 2013 als Spin-off aus der Computer Vision Group der Technischen Universität München gegründet. Ihr Ziel ist es, die neueste 3D-Scanning-Technologie von Computer-Vision-Forschung auf den Markt zu bringen.

Dieser Scanner kostet knapp 300 EUR, dazu kommt noch die Hardware für weitere 200 EUR. Um den Scanner in Betrieb zu nehmen, wird nicht viel benötigt: 3D-Scanner-Software, ein 3D-Sensor wie zum Beispiel der Microsoft Kinect für die Xbox und ein aktueller PC mit einer NVidia-Grafikkarte mit mindestens 1GB Grafikkartenspeicher. Das Vorgehen ist auch recht einfach: Sie erstellen die Modelle im STL-Format (oder auch PLY oder VRML), exportieren sie – und schon haben Sie die druckfertige Datei.

Das Scannen ist für Privatpersonen nicht mehr unerschwinglich. Für Besitzer eines eigenen 3D-Druckers wäre es bei dem Preis sogar denkbar, einen eigenen Scanner zu erwerben. Um so schön bunt wie ich Abb. 12.1 ausgedruckt zu werden, reichen jedoch die Drucker für den Hausgebrauch bisher nicht aus.

Da sollten Sie – zurzeit – doch noch die Leistung einer industriellen 3D-Druck-Anlage in Anspruch nehmen. Das Foto ist nicht nachbearbeitet, denn es soll einen realistischen Eindruck davon vermitteln, was derzeit schon für jeden Privatanwender möglich ist. An dem fertigen Bauteil sehen Sie, dass es ein 3D-Druck ist, der in Schichten aufgebaut wurde. Der Schichtaufbau lässt sich an den meisten 3D-gedruckten Objekten sehr gut erkennen. Aber der Scan ist für einen Scanner, den auch Privatpersonen sich leisten können, beeindruckend: Ich bin in wenigen Sekunden eingescannt worden und der 3D-Scan musste weder repariert noch nachbearbeitet werden. Das Modell konnte eingelesen und als STL-Datei exportiert werden und war sofort druckbar. Die meisten Scanner haben unterschiedliche Schwerpunkte: Dieser eignet sich dafür, Personen einzuscannen.



Abb. 12.1 Mein Kopf wurde mit einem einfachen 3D-Scanner gescannt und mehrfarbig im 3DP-Verfahren bei einem Dienstleister ausgedruckt (Fasterpoly)

- **Wichtig** Eines sollten Sie beim 3D-Scannen nicht vergessen: Das Copyright. Das Urheberrecht der Ursprungsobjekte sollten Sie bei jedem Scan im Hinterkopf behalten. Allerdings werde ich darauf noch in Kap. 13 ausführlicher eingehen. Wer sich selbst einscannet, kann mit dem Urheberrecht nicht in Konflikt geraten. Wenn Sie

für den Eigenbedarf Ersatzteile einscannen, die es nicht zu kaufen gibt, ist das ebenfalls meist unproblematisch.

12.5 Das Smartphone als 3D-Scanner?

Vielleicht ist es in naher Zukunft schon möglich, das Smartphone als hochwertigen 3D-Scanner zu benutzen: Unter dem Titel „A smart camera für your smartphone“ entwickelt gegenwärtig das kalifornische Unternehmen Pelican Imaging [5] eine Mikro-Kamera, welche mit 16 Linsen nicht allein gute Fotos machen soll, sondern ebenfalls als mobiler 3D-Scanner verwendet werden könnte.

Die für Smartphones geeignete Kamera kann neben dem eigentlichen Bild auch Tiefeninformationen erfassen, anhand deren der Benutzer nachträglich auf verschiedene Objekte fokussieren, die Distanz von einzelnen Objekten berechnen und auch für den 3D-Druck taugliche 3D-Modelle erstellen können soll.

Mit einer Dicke von nur 3 Millimetern ist diese Kamera rund 50 % dünner als herkömmliche Smartphone-Kameras. Es soll die erste mobile *plenoptische Kamera* sein, die auch Videos erfassen kann. Eine plenoptische Kamera wird auch Lichtfeldkamera genannt und nimmt das 4D-Lichtfeld einer Szene auf. Eine konventionelle Kamera dagegen ist nur in der Lage, ein 2D-Bild zu erfassen.

Die folgenden Abbildungen (Abb. 12.2 bis 12.5) zeigen, wie sich das Gerät verwenden lässt: Während Braut und Bräutigam tanzend Hochzeit feierten, wurden sie mit dem Smartphone mit der plenoptischen Kamera gefilmt. Anschließend wurden ihre mit Hilfe der Kamera erzeugten Figuren 3D-gedruckt, um pünktlich zum Dessert auf der eigenen Hochzeitstorte zu stehen. Hier sehen Sie einige Aufnahmen aus dem Video von Pelican Imaging.

Ende der neunziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts war ich bei einer Hochzeit von Freunden eingeladen. Digitalkameras waren kurz davor, den Massenmarkt zu erobern. Freunde des Hochzeitspaares hatten sich ausgedacht, ihre neue Digitalkamera sowie zusätzlich einen Laserdrucker mitzubringen, um alle Gäste für das Hochzeitsgästebuch zu fotografieren und direkt auf Papier auszudrucken.

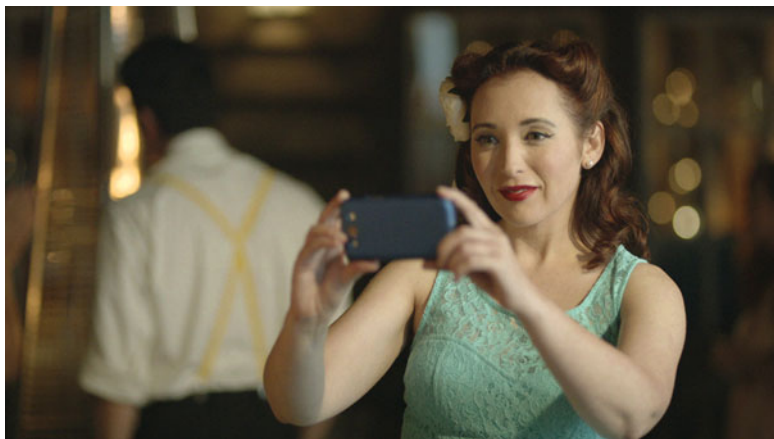


Abb. 12.2 Das Smartphone als 3D-Scanner (Pelican Imaging)



Abb. 12.3 Während das Hochzeitspaar noch feierte, wurde es schon dreidimensional ausgedruckt (Pelican Imaging)

Von dieser neuen Technologie völlig überwältigt, standen die Hochzeitsgäste staunend neben dem Laserdrucker, um zu sehen, wie ihr eigenes Foto dort ausgedruckt wurde – unmittelbar, bunt und auf Papier.



Abb. 12.4 Jetzt ist die Hochzeitstorte komplett (Pelican Imaging)



Abb. 12.5 Die Gäste und das Hochzeitspaar sind überrascht und begeistert (Pelican Imaging)

Das liegt nicht einmal zwanzig Jahre zurück. Inzwischen ist es schwer, noch andere Kameras als Digitalkameras im Handel überhaupt zu finden. Es werden so viele Fotos digital erzeugt und elektronisch verschickt, dass kein Mensch mehr auf die Idee käme, jedes einzelne davon auszudrucken.

Mittlerweile hat das Drucken zusammen mit dem Scannen die dritte Dimension erreicht. Und sicher sehr bald auch den Massenmarkt, so dass – wenn am Abend die Hochzeitstorte zum Dessert angeschnitten wird – eine am Nachmittag gefertigte 3D-Kopie des Hochzeitspaares darauf stehen könnte.

12.6 3D-Scannen in der Kunst – zwei Beispiele

12.6.1 3D-Scanner als „Detektiv“: Rubens oder van Dyck?

Ziel des integrierenden EU-Projekts 3D-COFORM [6] war es, die dreidimensionale Dokumentation von Kulturgütern in Institutionen wie zum Beispiel Museen zum Stand der Technik werden zu lassen.

Bei einem Porträt von Anthonis van Dyck, einem flämischen Künstler aus dem 17. Jahrhundert und Schüler von Peter Paul Rubens, wurde lange Zeit angenommen, dass das Kunstwerk von Rubens selbst geschaffen worden sei. Untersuchungen des Stils ergaben aber, dass das Bild auch van Dyck zugeordnet werden könnte. Studien von Kunsthistorikern, basierend auf historischen Manuskripten, chemischer Analyse der Farbe und sogar Computertomografien legten nahe, dass van Dyck der Schöpfer seines eigenen Porträts gewesen sein könnte.

Die Digitalisierung des Kunstwerks mit einem hochauflösenden Mini-Dome-3D-Scanner unterstützt inzwischen die These. Mit dieser Technologie war es möglich, einzelne Pinselftriche in größerer Detaillierung zu sehen. Hierbei war zu erkennen, dass das Gemälde in Schichten aufgebaut und überarbeitet wurde – was eine für van Dyck, aber nicht für Rubens sprechende Arbeitstechnik war.

Mit dem Mini-Dome-3D-Scanner von 3D-COFORM wurden rund 25.000 Bilder des Kunstwerks gemacht, aus welchen der Computer das komplette 3D-Modell errechnen konnte.

12.6.2 Van-Gogh-Museum scannt Meisterwerke für Replikate

Das Van-Gogh-Museum in Amsterdam hat 2013 damit begonnen, Meisterwerke des niederländischen Künstlers Vincent van Gogh einzuscannen und mittels 3D-Druck in hoher Auflösung zu produzieren. Die sehr hochwertigen Replikate gelten als die gegenwärtig präzisesten Nachbildungen und werden für rund 25.000 EUR pro Stück zum Verkauf angeboten. Der Museumsdirektor Axel Rüger stellt fest, dass ein Laie sie vom Original kaum unterscheiden könne. Weil die Produktion aufwendig ist, werden pro Tag maximal drei Kopien hergestellt, welche anschließend ein Sachverständiger auf ihre Qualität prüft, nummeriert und genehmigt. Die für die 3D-Replikate erforderliche Technologie mit dem Namen Reliefografie hat das japanische Unternehmen Fujifilm entwickelt. So heißen die Replikate Relievos und sind Teil der „Relievo Collection“. Um zu vermeiden, dass die hochwertigen Kopien als Originale ausgegeben oder weiterverkauft werden, wird jedes Replikat mit einem nicht entfernbaren Siegel gekennzeichnet. Pro reproduziertem Kunstwerk sind die Relievos bisher auf 260 Stück begrenzt. So sind zum Beispiel als 3D-Replikate die Van-Gogh-Werke *Sonnenblumen*, *Die Ernte*, *Mandelblüte*, *Boulevard de Clichy* und *Feld unter Sturmhimmel* zu erwerben [7].

Beispiel

Twinkind, ein Dienstleister in Berlin, bietet Kunden an, sich dreidimensional scannen und im Pulverdruckverfahren mehrfarbig in Polymergips drucken zu lassen. Dazu müssten Sie jedoch nach Berlin fahren, um sich einscannen zu lassen. Eine circa 20 Zentimeter hohe Figur kostet rund 300 EUR (Stand 2013): www.twinkind.com/main/de/landing

12.7 Bald alles mit nur einem Gerät? 3D-Scannen, 3D-Drucken, 3D-Kopieren und 3D-Faxen? Multifunktionsgeräte?

Während ich dieses Buch schreibe, werden bereits Geräte auf den Markt gebracht, die 3D-Scanner und 3D-Drucker miteinander verbinden. In

der Zukunft soll es Maschinen geben, die 3D-scannen, 3D-drucken, 3D-kopieren und 3D-faxen können. Nur ein einziges Gerät wird all das leisten. Das Ziel wäre damit, eine Art 3D-Multifunktionsgerät, wie es sie heute als Drucker gibt, herzustellen [8].

Auch 3D-Multifunktionsgeräte, die als 3D-Drucker, CNC-Fräse und 3D-Laserscanner arbeiten, werden als Desktop-Geräte entwickelt. Das italienische Unternehmen Fabtotum [9] hat ein Gerät hergestellt, das nicht nur 3D-drucken, sondern auch scannen, fräsen, gravieren und drehen kann.

Das polnische Unternehmen ZMorph [10] aus Breslau entwickelt auf der Grundlage eines RepRap-Druckers des Typs Prusa Mendel einen 3D-Drucker, der ebenfalls als CNC-Fräse arbeiten kann. Weil er über austauschbare Werkzeugköpfe verfügt, lässt sich der 3D-Drucker ZMorph Personal Fabricator mit einem Kunststoff-Extruder, einer Fräse oder einem Spritzensystem versehen. So soll er sowohl fräsen als auch mit Kunststoffen, Ton oder Schokolade drucken können.

Literatur

1. www.lboro.ac.uk/service/publicity/news-releases/2012/64_Forbidden-city.html
2. www.heise.de/newsticker/meldung/Microsoft-SDK-macht-Windows-Kinect-zum-3D-Scanner-1825078.html
3. www.germanreprap.com
4. www.fablitec.com
5. www.pelicanimaging.com
6. www.3dcoform.eu
7. www.theguardian.com/artanddesign/2013/aug/24/3d-replicas-van-gogh
8. www.3ders.org/articles/20130821-an-all-in-one-3d-printer-for-scanning-printing-copying-faxing.html
9. www.golem.de/news/fabtotum-der-3-in-1-maker-1308-101292.html
10. www.zmorph3d.com

Produktpiraterie und Urheberrechte: die gegenwärtige Gesetzeslage

13

Zusammenfassung

Inzwischen wird im Zusammenhang mit 3D-Druck sogar schon von der *Napsterisierung* der klassischen Fertigung gesprochen – und diese befürchtet. Damit ist das unautorisierte Kopieren urheberrechtlich geschützter Medieninhalte gemeint. Das Wort Napsterisierung findet seinen Ursprung in der Musiktaschbörse Napster. Es wurde 2002 vom deutschen Informationswissenschaftler Rainer Kuhlen geschaffen. Stefan Krempel schreibt dazu: „Experten sehen mit 3D-Druckern und vergleichbaren Rapid-Fabrikationsgeräten seit Längerem die Verwandlung der materiellen Produktion in einen rechnergestützten Informationsprozess übergehen.“ [1]

13.1 Produktpiraterie

Ganz wie in der Musikindustrie längst geschehen, könnte sich schnell eine Produktpiraterie um die 3D-CAD-Modelle entwickeln. Da die Modelle als digitale Daten vorliegen, ist es sehr einfach, sie zu kopieren, zu verteilen sowie Raubkopien der Daten herzustellen. Sobald die 3D-Modelle sich im Internet befinden, sind sie vor Piraterie nicht mehr sicher.

Eine zusätzliche Möglichkeit zum Diebstahl geistigen Eigentums bietet das 3D-Scannen von Objekten. Das können sowohl Kunstwerke als auch Produkte von Wettbewerbern sein. Ein einmal gescanntes Objekt lässt sich in nahezu jedem Material und Maßstab beliebig produzieren. Das gilt ebenso für die neuesten Entwürfe von Premium-Produkten.

Durch die Möglichkeit des 3D-Scannens wird die Time-to-Market der Fälscher noch einmal verkürzt.

Es muss aber nicht allein bei wirtschaftlichen Schäden bleiben, die ein solcher Datendiebstahl erzeugt. Produktpiraterie schließt lebensgefährliche Konsequenzen für die Kunden nicht aus: Der Zugriff auf kostengünstige 3D-Drucke aus minderwertigen Bau-Materialien könnte bei Ersatzteilen für Maschinen, Fahrzeuge oder Geräte zu schweren Unfällen führen.

13.2 Urheberrechte

13.2.1 Die Frage des Urheberrechts wird im Bereich 3D-Druck zunehmend Bedeutung einnehmen

Die Frage des Urheberrechts wird sich mit der Verbreitung von 3D-Druck immer zwingender stellen. So ist es nicht gestattet, ein Kunstwerk, beispielsweise eine Skulptur, ohne die Einwilligung des Künstlers oder eines Rechteinhabers zu vervielfältigen. Doch gerade dies ist bald jedem möglich.

Außerdem wird der Schutz für ein Produkt in der Regel durch ein Schutzrecht wie ein Patent, eine Marke, ein Geschmacks- oder Gebrauchsmuster garantiert. Jedoch kann ein Schutzrecht, wie es zum Beispiel bei Legosteinen der Fall ist, bereits ausgelaufen sein. Das heißt: Legosteine dürfen zwar gedruckt werden, aber nicht mit dem Firmenlogo, weil wiederum Logos, Unternehmens- und Warenbezeichnungen meistens durch das Markenrecht geschützt sind.

Hinzu kommt, dass Patente nach derzeitiger deutscher Rechtsprechung zumeist nur den gewerblichen Gebrauch betreffen. Das liegt daran, dass das Patentrecht die gewerblichen Interessen des Erfinders schützen will. So heißt es nach § 11 Nr. 1 PatG, dass Handlungen, die im privaten Bereich zu nicht gewerblichen Zwecken vorgenommen werden, keine Patentverletzungen seien.

Die Zeitschrift c't berichtete schon 2011 darüber, dass die auf der Internet-Plattform Thingiverse zum 3D-Druck zur Verfügung gestellten Steine zum Spielset „Die Siedler von Catan“ nicht patentfähig und damit nicht geschützt seien. Patente und Gebrauchsmuster bezögen sich nur auf

technische Erfindungen. Spiele und deren Bestandteile würden dadurch in der Regel nicht erfasst [2].

Logos, Unternehmens- und Warenbezeichnungen aber unterliegen dem Markenschutz und können selbst beim 3D-Druck für den privaten Gebrauch Schwierigkeiten bereiten.

Die eigene Herstellung eines 3D-Modells nach einem Vorbild gilt in der Regel als zulässig. Das erklärt sich damit, dass man in diesen Fällen rechtlich zumeist von der Entstehung eines neuen Werks ausgeht. Die Nachbildung von zum Beispiel berühmten Bauwerken für den Modellbau wiederum könne, so die Zeitschrift c't, problematisch werden. Hier gelten oft lange und strikte Urheberrechtsgesetze zu Gunsten des Werks des Architekten.

Wenn ein Dienstleister im Auftrag eines Kunden ein 3D-Modell druckt, hat er dafür gegenwärtig keine Kontroll- oder Haftungspflichten. Trotzdem empfiehlt es sich für Dienstleister, in ihren allgemeinen Geschäftsbedingungen auf diese Tatsache explizit noch einmal hinzuweisen.

13.2.2 Was lässt sich gegen Produktpiraterie unternehmen?

Auf welche Art die sich ständig verbessernde Qualität 3D-gedruckter Objekte in den kommenden Jahren ein Problem durch unautorisiertes Kopieren werden kann, ist zurzeit nicht einschätzbar. Insbesondere in den USA jedoch bereiten sich sowohl Firmen als auch Gerichte jetzt schon darauf vor.

Wie lässt sich Abhilfe schaffen? Für Unternehmen wäre es technisch möglich, mit Hilfe von Codes, welche mit den CAD-Dateien verknüpft sind, zu bestimmen, ob, wie oft oder mit welchem Bau-Material ein Modell hergestellt werden darf – zum Beispiel durch DRM (Digital Rights Management). Auch wäre es technisch möglich, dass Bauteile direkt beim Drucken mit einer von außen nicht erkennbaren Seriennummer versehen werden, die nur mit einem Spezialgerät ausgelesen werden kann. Wäre das eine Möglichkeit, Fälschungen vorzubeugen? Wenn der 3D-Drucker direkt bei der Produktion ein Erkennungsmerkmal in das Objekt drucken würde? All das befindet sich noch in der Entwicklung [3].

Das US-amerikanische Start-up-Unternehmen Authentise hat als mögliche Lösung gegen Urheberrechtsverletzungen bei 3D-Druck-Dateien ein Streaming-System entwickelt. Das soll so funktionieren, dass die Druckdateien von einem Portal unmittelbar in die 3D-Drucker gestreamt werden. So erhielte nicht der Nutzer das 3D-Modell, sondern nur die Maschine. Dadurch würde die Möglichkeit entfallen, die 3D-Modelle zu kopieren oder zu teilen. Nach dem Druckvorgang würden die Daten sofort gelöscht, so dass nur das gedruckte Objekt übrig bliebe [4].

Literatur

1. <http://www.heise.de/newsticker/meldung/US-Patent-schuetzt-DRM-System-fuer-3D-Druck-1729236.html>
2. F. Schmieder: Nachbauer und Markenphlegmatiker: Rechtliche Untiefen im Zusammenhang mit 3D-Druck. c't – Magazin für Computertechnik. 15/2011, S. 102–105 (2011)
3. www.golem.de/news/infrastructs-3d-drucker-druckt-erkennungsmerkmale-in-objekte-1307-100572.html
4. www.heise.de/tr/artikel/Diese-Daten-kriegt-ihr-nicht-1948571.html

Zusammenfassung

In vielen Bereichen ist 3D-Druck mittlerweile so selbstverständlich, als habe es die Technologie schon immer gegeben. Allen voran in der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie und der Medizintechnik. In der Architektur und im Design ist 3D-Druck heute Standard. Neben Schmuck werden sogar schon hochwertige Uhrengehäuse gedruckt, zum Beispiel aus Titan. Um auf alle Bereiche, in denen 3D-Druck inzwischen verwendet wird, ausführlich einzugehen, wäre es notwendig, ein Buch zu schreiben, das sich ausschließlich damit beschäftigt. Deshalb greife ich für dieses Kapitel nur zwei Bereiche heraus, die mir interessant erscheinen: die Möbel-Industrie und die Medizintechnik.

14.1 Möbel

In der Möbel-Industrie ist Design ein bedeutender Faktor. Dies gilt insbesondere für hochpreisige Möbel, von denen erwartet wird, dass sie sich durch innovatives Design oder außergewöhnliche Funktionen von preisgünstiger Massenware unterscheiden. Hier kommt 3D-Druck zum Tragen: Standardprodukte können individualisiert, nahezu jede Geometrie und Form kann realisiert werden. Von Vorteil ist außerdem die durch 3D-Druck mögliche On-Demand-Produktion, durch welche Lagerkapazitäten eingespart werden und schnelle Design-Änderungen an den Objekten vorgenommen werden können [1].

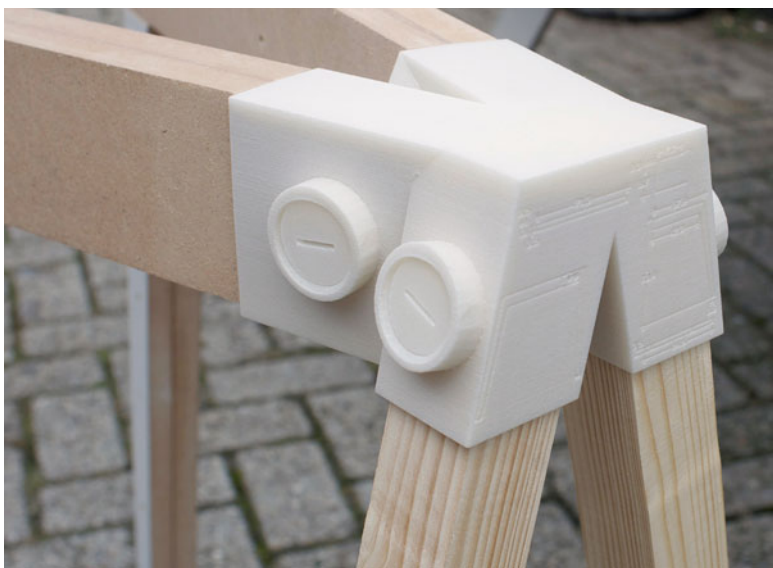


Abb. 14.1 KEYSTONES; der Schlussstein hält das Möbelstück zusammen (Studio Minale-Maeda)

Könnte 3D-Druck bald großen Möbelhäusern Konkurrenz machen, weil sich jeder seine Möbel selbst ausdruckt? Ich denke, bis es so weit kommt, werden wir eine Weile warten müssen. Der Grund dafür ist, dass das 3D-Drucken derzeit sowohl zu teuer als auch zu langsam ist und sich aus diesen Gründen für die Massenproduktion bisher nicht eignet. Außerdem sind die Bau-Räume der meisten 3D-Drucker zu klein, um in einem Stück große Objekte wie Möbel zu fertigen. Stühle oder Tische müssen deshalb im Moment noch aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzt werden.

Es ist dennoch nicht auszuschließen, dass in den Möbelhäusern der Zukunft nur noch Möbel-Prototypen ausgestellt sein werden. Von denen würden erst auf Bestellung weitere produziert. Diese wiederum könnten individuell an die Kundenwünsche angepasst und jederzeit entsprechend deren Bedarf verändert werden. Insbesondere kleineren Möbelproduzenten oder -Designern würde 3D-Druck damit neue Möglichkeiten bieten.



Abb. 14.2 KEYSTONES; hier sind die Möbel komplett zu sehen (Studio Minale-Maeda)

Möbel-Designer könnten aber ebenso gut in ihrem eigenen Studio die Ideen für ihre Entwürfe produzieren und direkt verkaufen. Kleinere Objekte wie Vasen oder Lampen können bereits jetzt als komplette Teile von 3D-Druck-Anlagen umgesetzt werden. Mittels 3D-Druck sind alle nur vorstellbaren Formen realisierbar – selbst solche, die heute als nicht herstellbar gelten.

So bietet das Unternehmen *Freedom of Creation* schon lange in seinem Online-Shop einige 3D-gedruckte Möbelstücke aus unterschiedlichsten Bau-Materialien an – zum Beispiel aus Metall oder aus Keramik: Es gibt unter anderem Lampen, Raumteiler, Tische und Stühle [2].

Beispiele für die Anwendung von 3D-Druck im Möbel-Design zeigen Abb. 14.1 und 14.2 des Werks KEYSTONES von Kuniko Maeda und Mario Minale. Das Designer-Paar betreibt in Rotterdam/Niederlande das Studio Minale-Maeda. Ein Keystone ist ein Schlusstein – und so lässt sich begreifen, was gemeint ist: Die Möbel können als Einzelteile transportiert und an ihrem Bestimmungsort mit dem 3D-gedruckten „Schlusstein“ zu einem Teil zusammengefügt werden.

14.2 Medizintechnik

14.2.1 Implantate drucken

Implantate zu drucken ist inzwischen gängige Praxis. Bei einigen 3D-Druck-Systemen besteht die Möglichkeit, die Eigenschaften und die innere Struktur des zu druckenden Materials zu variieren. So gibt es Titan-



Abb. 14.3 Prothesenimplantat (Within Technologies)

Implantate mit Eigenschaften, die denen von Knochen gleichen. An den Stellen, an denen Biegesteifheit und Festigkeit erforderlich sind, ist das Implantat kompakt. Überall dort, wo Knochen in das Implantat hereinwachsen sollen, verfügt das gedruckte Implantat über Gitterstrukturen. Abbildung 14.3 zeigt ein solches. Außerdem sind 3D-gedruckte Hüftgelenke erheblich leichter als mit herkömmlichen Verfahren hergestellte: Ein 3D-gedrucktes Hüftgelenk wiegt gerade einmal 200 Gramm. Es ist höchstwahrscheinlich, dass solche Implantate länger im Körper bleiben als herkömmliche, weil durch die Porosität und die feinen Gitterstrukturen das Zusammenwachsen mit den Knochen vereinfacht wird.

Derzeit wird ausgiebig an biokompatiblen Kunststoffen geforscht, welche gleichfalls ähnliche Materialeigenschaften wie reale Knochen haben. Einer der Vorteile von diesen ist, dass sich – im Gegensatz zu Metall-Implantaten – aus Kunststoff hergestellte Implantate selbst in Röntengeräten neutral verhalten.

14.2.2 Tissue Engineering als Grundlage für Bio-Printing

Tissue Engineering, das bedeutet Gewebekonstruktion, ist in der Medizin mittlerweile ein etabliertes Verfahren. Es handelt sich dabei um eine Herstellungsmethode von biologischem Gewebe durch die Kultivierung von Zellen. Tissue Engineering bietet die Möglichkeit, durch künstlich außerhalb des menschlichen Körpers neu gezüchtetes Gewebe das kranke Gewebe bei Patienten zu ersetzen oder wiederherzustellen.

Zunächst werden dem Patienten dazu körpereigene Zellen entnommen. Anschließend werden diese Zellen im Labor vermehrt. Die Zellen können als Zellrasen kultiviert und später dem Empfänger retransplantiert werden. Oft lässt sich auf diese Art eine Gewebefunktion wieder rekonstruieren. Das Verfahren gibt es in der Medizintechnik seit einigen Jahren. Neu daran ist jedoch die Rekonstruktion aus unterschiedlichen Zellen.

Seit Längerem wird daran geforscht, mit Hilfe von Tissue Engineering menschliche Haut herzustellen. Diese könnte zum Beispiel Brandopfern zu Nutze kommen. Es gelingt bereits seit ein paar Jahren, künstliche Haut zu produzieren, jedoch lange Zeit war das nur in speziellen Laboren in aufwendiger Handarbeit möglich. Vier Fraunhofer Instituten ist es in-

zwischen in Zusammenarbeit gelungen, künstliche Haut automatisiert zu erzeugen. Auf der Webseite des Fraunhofer Instituts ist sogar von der „Fabrik für menschliche Haut“ die Rede [3].

14.2.3 Bio-Printing mit embryonalen Stammzellen oder den eigenen Körperzellen

Dr. Anthony Atala, Direktor des US-amerikanischen „Wake Forest Institute for Regenerative Medicine“ in North Carolina, erklärte schon in einem CNN-Interview Anfang 2011 [4], wie mit entnommenen und gezüchteten Hautzellen ein flüssiges Material erzeugt werden kann, mit dem sich das entsprechende Hautstück dreidimensional drucken lässt. Als „Bau-Material“ verwendet der Drucker Hautzellen. Tissue Engineering in Verbindung mit der 3D-Druck-Technik ergibt die als Bio-Printing bezeichnete Technologie. Bau-Material können sowohl embryonale Stammzellen sein als auch die Körperzellen der Patienten selbst.

Mit dem Verfahren kann menschliches Gewebe hergestellt werden, an dem neue Arzneimittel oder die Toxizität von Stoffen für den Menschen getestet werden sollen. Ohren werden schon in unterschiedlichsten Ländern gedruckt. In der Zukunft könnten mit dem Verfahren auch Organe gedruckt werden. Forscher wollen die Technik so weiterentwickeln, dass es möglich wird, damit für den Menschen implantierbare Organe herzustellen.

So könnte sie auch zur künstlichen Herstellung von transplantierbaren Nieren dienen. Auf der Grundlage von Gewebeproben und einer 3D-Aufnahme der Nieren könnten mit körpereigener „DNA-Tinte“ komplette Nieren im Schichtbauverfahren gedruckt werden, die anschließend in den Körper transplantiert werden. Um diese „Tinte“ herzustellen, werden zuerst Stammzellenkulturen produziert. Daraufhin wird als eine Art Grundgerüst ein Hydrogel verwendet, in welches die Niere hineingedruckt werden soll.

Wie viele andere 3D-Drucker verfügt auch der Bio-3D-Drucker über zwei Druckköpfe: Der eine baut das Gel, der andere die menschlichen Zellen auf. Damit die Zellen richtig zusammenwachsen können, muss die hergestellte Niere einige Zeit in einer Nährlösung aufbewahrt werden.

Funktionstüchtige, implantierbare Organe zu drucken wäre in der Medizin ein gegenwärtig für einen Laien noch kaum vorstellbarer Fortschritt. Damit ein Organ wie eine Niere in einem menschlichen Körper funktioniert, benötigt sie Blutgefäße für die Sauerstoff- und Nährstoffversorgung. Wissenschaftler denken darüber nach, eine im Labor nicht vollständig zu Ende entwickelte Niere zu transplantieren und den Rest der „Anpassungsarbeiten“ dem menschlichen Körper zu überlassen.

Dr. Atala arbeitet außerdem an einem fast futuristisch anmutenden Bio-Printing-Projekt, für welches im Jahr 2013 das US-amerikanische Verteidigungsministerium 24 Millionen USD an Fördermitteln bereit stellte: Mit dem 3D-Drucker erzeugte menschliche Miniaturorgane könnten als „Körper auf dem Chip“ („body on a chip“) für Medikamententests genutzt werden. Diese tatsächlich auf einem Chip gedruckten Organe wären nicht vollständig funktionsfähig, aber als Leber, Herz und Lunge für Testzwecke ausreichend. Das Projekt wird für unterstützungswürdig gehalten, weil es die Medikamentenentwicklung stark beschleunigen könnte. Gerade wenn es darum geht, auf chemische oder biologische Angriffe schnell zu reagieren – sei dies der Ebola-Virus oder Sarin – müssen Mediziner unmittelbar Gegenmittel parat haben. Zudem könnten durch den künstlichen Körper auf dem Chip in großem Maß Tierversuche reduziert werden [5].

14.2.4 Künstliche Knochen aus Stammzellen herstellen

Forscher an der britischen University of Nottingham gaben 2013 bekannt, dass sie mit einem Bio-Printer künstliche Knochen aus Stammzellen herstellen wollen [6].

Geplant ist, auf der Basis eines CT-Scans eine Grundstruktur des Knochens zu drucken, Stammzellen hinzuzufügen und anschließend den Knochen in den menschlichen Körper zu implantieren. Mit der Zeit würde sich die künstliche Struktur im menschlichen Körper auflösen. Eine neue Knochenstruktur würde sie ersetzen.

Beispiel

Wie durch einen 3D-gedruckten Stent einem Kind das Leben gerettet wurde

Im Alter von nur sechs Wochen bekam Kaiba Gionfriddo aus Ohio während eines Restaurantbesuchs, zu welchem ihn seine Eltern mitgenommen hatten, plötzlich keine Luft mehr und lief blau an. Die medizinische Diagnose: Tracheomalazie. Dabei handelt es sich um eine Krankheit, bei welcher eine verlangsamte Entwicklung der Luftröhrenknorpel nicht nur zu Atembeschwerden führen, sondern auch die Luftröhre kollabieren lassen kann. Im Fall von Kaiba wurde befürchtet, dass er die Krankheit nicht überleben würde. Jederzeit wäre ein Erstickungstod möglich gewesen. Herkömmliche medizinische Methoden kamen bei der Schwere der Krankheit nicht in Frage, so dass für die Operation mit einer bis dahin unerprobten Methode von der US-Aufsichtsbehörde eine Notfallfreigabe erteilt wurde.

Als Kaiba fünf Monate alt war, wagten Mediziner mit Einwilligung seiner Eltern einen ungewöhnlichen Eingriff, der ihm das Leben rettete: Forscher der US-amerikanischen University of Michigan setzten dem Kind einen 3D-gedruckten Stent ein, um die Luftröhre zu stabilisieren. Dieser Stent war passgenau nach Daten einer Computertomografie konstruiert worden. Als Bau-Material für das Implantat wurde das Polymer Polycaprolacton verwendet, welches vom menschlichen Körper abgebaut werden kann. Erwartet wird, dass sich das Material innerhalb von drei Jahren auflösen und so das Wachstum von Kaiba nicht behindern wird.

Kaum dass der Stent eingeführt worden war, begann die Lungenfunktionstätigkeit wieder. Seit der Operation im Februar 2012 entwickelt sich Kaiba Gionfriddos Luftröhre normal – wie bei einem gesunden Kind [7].

Literatur

1. Universität Paderborn, Heinz-Nixdorf-Institut, DMRC (Direct Manufacturing Research Center)-Studie: Thinking ahead of the Future of Additive Manufacturing – Future Applications, Autor: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier (2012)
2. www.freedomofcreation.com

3. www.fraunhofer.de/de/veranstaltungen-messen/jahr-der-gesundheitsforschung/tissue-engineering
4. CNN-Interview Dana Rosenblatt mit Dr. Anthony Atala, 19. Februar 2011
5. www.mashable.com/2013/09/16/body-on-a-chip/?utm_campaign=Mash-Prod-RSS-Feedburner-All-Partial&utm_cid=Mash-Prod-RSS-Feedburner-All-Partial&utm_medium=feed&utm_source=rss
6. www.3druck.com/forschung/uk-forscher-wollen-knochen-aus-stammzellen-drucken-5011331/
7. www.golem.de/news/atmung-implantat-aus-3d-drucker-rettet-saeugling-das-leben-1305-99463.html

Zusammenfassung

Beim 3D-Druck wird derzeit sehr häufig mit thermoplastischen Kunststoffen und kunststoffähnlichen Harzen gedruckt. Deshalb entstehen zuweilen starke Bedenken: Dass 3D-Druck eine umweltfeindliche Technologie sein könnte, deren Abfallprodukte unsere Umwelt noch auf unabsehbare Zeit belasten werden und praktisch nicht zu recyceln sind. Wenn es in Zukunft so wäre, dass in großer Menge 3D-gedruckt und anschließend die nicht mehr benötigten Objekte weggeworfen würden, wäre das tatsächlich ein Grund zur Sorge. In diesem Kapitel möchte ich anhand von einigen Beispielen belegen, dass 3D-Druck eine nachhaltige Technologie sein kann. Zum einen durch recycelbare und nachwachsende Werkstoffe, zum anderen als ein Gewicht, Ausschuss und Transportwege reduzierendes Herstellungsverfahren. Da der 3D-Drucker nur das für das Objekt benötigte Material verarbeitet, gibt es beim Drucken nahezu keinen Abfall. Beim 3D-Druck-Verfahren wird kein hochwertiges Material zerspannt und dadurch zu Produktionsabfall. Es sind keine Formen und fast keine Hilfsstoffe notwendig. So wird die Produktion von Bauteilen durch den geringeren Rohstoffverbrauch nicht nur ökologischer, sondern auch preisgünstiger. Zum Abschluss des Kapitels präsentiere ich eine Zukunftsvision, an deren Umsetzung schon gearbeitet wird: Wenn 3D-gedrucktes Fleisch produziert würde, könnte das in hohem Umfang Ressourcen schonen.

15.1 Recyclerter Plastikmüll als Bau-Material

Im Netz gibt es mehr und mehr Plattformen, die zum Crowdfunding aufrufen. Crowdfunding-Plattformen bieten kreativen Projekten ein Forum und sind eine Art modernes Fundraising, also eine Finanzierungsmöglichkeit abseits der klassischen Banken. Jeder, der eine viel versprechende Idee hat, kann diese auf der Plattform einstellen und um Finanzierung dafür werben. Wer möchte, beteiligt sich unmittelbar online finanziell an der Weiterentwicklung der Idee. Sobald innerhalb einer vorgegebenen Zeit ein Mindestbetrag durch die Unterstützer zusammengekommen ist, erhält der Einstellende das Geld. Im Gegenzug bekommen die Unterstützer das fertige Produkt zu besonderen Konditionen oder sie dürfen Einfluss auf die Entwicklung nehmen. Mit Hilfe von Crowdfunding wurden und werden zahlreiche Ideen im 3D-Druck-Bereich von einer großen Anzahl von Unterstützern finanziert. Eine dieser Online-Plattformen ist die US-amerikanische Plattform namens *Kickstarter*, die eine starke Ausrichtung auf technische Projekte hat.

Ein Problem für die Nutzer-Community von sehr preisgünstigen 3D-Druckern für den Hobbybereich ist der im Verhältnis zu den Druckern immer noch zu hohe Preis für das Kunststoffdraht-Bau-Material, das so genannte Filament. Wenngleich dieses auch im Vergleich zum Bau-Material von professionellen Druckern außerordentlich günstig ist, stellt es für die meisten User den größten Kostenfaktor für ein 3D-gedrucktes Objekt dar. Obwohl aus dem gleichen ABS- oder PLA-Material, ist der Kunststoffdraht teilweise erheblich teurer als die Kunststoff-Pellets – das Granulat – es sind. Zum Drucken wird jedoch ein möglichst präziser Draht benötigt, damit das Material kontinuierlich in gleicher Menge durch den Druckkopf transportiert wird. Das förderte die Idee, eine Maschine zu schaffen, mit welcher die Pellets in Kunststoffdrähte umgewandelt werden können.

Auf Kickstarter wurde Anfang 2012 Crowdfunding mit dem Ziel betrieben, auf der Grundlage von Plastikabfällen Filament für 3D-Drucker zu produzieren. Dazu sollte der Recycling-Roboter mit dem Namen Filabot [1] das zum Drucken erforderliche Filament aus gebrauchtem Kunststoff, beispielsweise aus nicht mehr benötigten 3D-gedruckten Bauteilen, herstellen.

Schon 2012 berichtete ich über das Kickstarter-Projekt des US-Amerikaners Tyler McNaney aus Vermont, aus PET-Flaschen für den 3D-Druck geeignetes Filament zu produzieren. Damals stand der Erfolg des Vorhabens noch aus, aber schon im Januar 2013 konnte die Community sich nach der mehr als erfolgreichen Finanzierung über Kickstarter an der Verwirklichung des Projekts erfreuen: Der Prototyp des Filabot war fertig. Mittlerweile wird der Filabot produziert. Er kann nicht nur PET-Flaschen, sondern auch andere Kunststoffabfälle wie beispielsweise altes Spielzeug – bis zu einer Größe von maximal zehn Zentimetern – aufnehmen und zerkleinern. Als Ergebnis eines Schmelz-, Walz- und Extruder-Vorgangs gibt es das Bau-Material: ein Filament auf einer Rolle. Die Fadengröße des Bau-Materials lässt sich zuvor auf den Bedarf des auszurüstenden 3D-Druckers einstellen. Es ist ein Durchmesser von maximal 3 Millimetern möglich – ein Größenbereich, der bei den meisten Druckern benötigt wird. Der Recycling-Roboter kann mit verschiedenen thermoplastischen Kunststoffen arbeiten: zum Beispiel Polyethylen in unterschiedlichen Varianten, ABS oder sogar Nylon. So müssen keine teuren Bau-Materialien mehr gekauft werden und gleichzeitig wird die Umwelt geschont.

Der Filabot ist ein eindeutiger Beitrag zur Nachhaltigkeit – und ein erfreuliches Beispiel dafür, wie erfolgreich und schnell manche Kickstarter-Projekte verwirklicht werden. Tyler McNaney hatte sich 10.000 USD bei der Crowdfunding-Plattform Kickstarter zum Ziel gesetzt und sein Projekt war mit weit mehr – insgesamt 32.330 USD – am Ende finanziert worden. Zudem bietet das Recycling von Plastikabfall als Bau-Material eine große Chance für die Dritte Welt, 3D-Druck ohne hohe Kosten zu nutzen. Der Filabot war meiner Kenntnis nach der erste, der sich als Recycling-Roboter für den privaten Bereich einen Namen machte. Es gibt mittlerweile weitere Ausführungen anderer Entwickler: den RecycleBot, den ExtrusionBot und einige mehr – und es werden sicher noch viel mehr werden. Die Sortenreinheit oder möglicherweise in dem recycelten Material enthaltene Schadstoffe sind Fragen, mit welchen sich die Entwickler weiterhin intensiv beschäftigen müssen.

Mitglieder des WOOF (Washington Open Object Fabricator), eines im Jahr 2011 gegründeten studentischen Clubs für 3D-Druck, hatten die Idee, ein Boot aus geschredderten Milchflaschen zu drucken. Mit der



Abb. 15.1 Aus recycelten Milchflaschen wird das Boot gedruckt (WOOF)

Umsetzung des Projekts gewannen sie im Jahr 2012 einen hohen Geldpreis im Wettbewerb 3D4D Challenge. Aus 250 geschredderten und geschmolzenen 1-Gallone-Milchflaschen druckten die Studenten ein funktionsfähiges kleines Boot, in dem ein Mensch sitzen und sich rudern fortbewegen kann. Neben der Verwendung des Plastikmülls ist dabei besonders bemerkenswert, dass der von den Studenten entwickelte 3D-Drucker mit HDPE (Hochdruck-Polyethylen)-Extruder in der Lage ist, sehr große Objekte, wie beispielsweise das Boot, herzustellen. Die meisten gegenwärtig verwendeten 3D-Drucker können nur verhältnismäßig kleine Objekte bis zu einer Kantenlänge von 30 bis 50 cm produzieren. Abbildungen 15.1 und 15.2 geben einen Eindruck davon, wie zunächst das Boot entsteht und wie es anschließend auf dem Wasser getestet wird.



Abb. 15.2 In dem fertigen Bauteil kann sich ein Mensch fortbewegen (Bethany Weeks)

Die Verwendung von Kunststoffabfällen als Bau-Material für 3D-Druck würde der Umwelt in mehrfacher Hinsicht nützen: Einerseits würde sie mit weniger Plastikmüll belastet, andererseits müssten nicht eigens für den 3D-Druck neue Bau-Materialien, deren Grundlage wiederum wertvolle Rohstoffe sind, verwendet werden. Offen bleibt gegenwärtig noch die Frage, wie oft das recycelte Material wiederverwertet werden kann.

15.2 Ein langfristiges Ziel: Noch mehr biokompatible 3D-Druckmaterialien, idealerweise aus nachwachsenden Rohstoffen

Es darf nicht vergessen werden zu erwähnen, dass – vor allem mit Blick auf den Lebensmittel- und den medizintechnischen Bereich – stark nach bio- und umweltkompatiblen 3D-Druck-Materialien geforscht wird. Damit meine ich natürlich nicht die Vorhaben, dass mit Schokolade oder anderen Lebensmitteln gedruckt wird, sondern Bio-Kunststoffe, die aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden und sich nach Gebrauch beim Kompostieren zersetzen. Bisher gibt es schon Polylactide (PLA), die besonders häufig in den FDM-3D-Druckern zum Einsatz kommen. Die aus Milchsäuremolekülen bestehenden Polylactide gelten als biokompatibel. Zudem entstehen sie nicht aus Erdöl wie konventionelle Kunststoffe, sondern auf Basis nachwachsender Rohstoffe – beispielsweise Mais. Hierbei drängt sich, ganz wie beim Bio-Sprit, die Diskussion auf, ob Nahrungsmittel zu Bau-Material verarbeitet werden dürfen. Vor allem dann, wenn in der Zukunft in großem Umfang mit PLA-Material gedruckt werden sollte. Im Juli 2013 wurde bekannt, dass die NASA 100.000 USD für die Forschung mit 3D-Druck und Bio-Materialien zur Verfügung stellt [2]. So wird es vermutlich nicht mehr lange dauern, bis mehr und mehr unterschiedliche Bio-Materialien im 3D-Druck-Bereich entwickelt werden.

Der 3D-Druck mit Papier wird bereits heute jedem ermöglicht – mit kleinen und bürotauglichen 3D-Druckern des irischen Unternehmens Mcor Technologies [3]. Kaum ein Material wird bei uns in Deutschland in Privathaushalten seit längerer Zeit recycelt als Papier, dazu mit einer sehr hohen Quote. So bietet sich Papier nicht nur als preisgünstiges und einfach verfügbares, sondern auch als recycelbares 3D-Druck-Material an. Der Drucker „Iris“ von Mcor Technologies druckt mit einer Art Papierlaminierdruck. Im Handel erhältliche DIN-A4-Seiten sind das Bau-Material. Die Farben, mit denen das Objekt bedruckt wird, sind wasserlöslich wie die eines Tintenstrahldruckers. Die Details des Verfahrens finden Sie in Kap. 5 zu den verschiedenen 3D-Druck-Technologien beschrieben. Das Papier-Bauteil kann umweltfreundlich entsorgt werden. Wenn Sie es nicht mehr brauchen, werfen Sie es einfach in den Altpapiercontainer.

Beispiel

Am Institut für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie an der belgischen Université catholique de Louvain (UCL) wird das 3D-Druck-Verfahren mit Papier bereits zum Vorbereiten chirurgischer Eingriffe genutzt. Zunächst wird dazu anhand eines dreidimensionalen CT-Scans des Patienten ein Modell von dessen Gesichtsknochen geschaffen. Dieses Modell ermöglicht es den Ärzten, metallische Implantate noch vor dem ersten Eingriff am Patienten an dessen individuellen Knochenbau anzupassen und die Operation selbst besser planen zu können. Während bei vergleichbaren Eingriffen die Implantate am „offenen Patienten“ oftmals nachbearbeitet werden müssen, kann durch diese Methode die Operationszeit um bis zu eine Stunde verkürzt werden.

15.3 Weniger Materialausschuss bei der Produktion, geringeres Gewicht des 3D-gedruckten Objekts als bei herkömmlicher Herstellung: Beispiel Luftfahrt

In der Luftfahrtindustrie findet 3D-Druck beziehungsweise Additive Manufacturing schon seit den 1980er Jahren Anwendung – in immer besserer Qualität. Zuerst wurde die Technologie noch für die Herstellung von Mustern und Prototypen verwendet. Mittlerweile werden damit Serienbauteile gefertigt. Insbesondere große Unternehmen wie Boeing oder Airbus nutzen für ihre sehr speziellen Bauteile die Möglichkeiten des 3D-Drucks. Gerade in der Luftfahrt hat die Herstellung von Teilen mit geringem Gewicht eine hohe Bedeutung: Seien diese Turbinenschaufeln, spezielle Werkzeuge für die Montage oder individuelle Inneneinrichtungen für Hubschrauber.

Es wird erwartet, dass immer leichtere Teile produziert werden und Anwendung finden können. So können organischere, an der Natur orientierte Merkmale in den Designs zunehmen, weil sich durch die Technologie des 3D-Drucks alle Formen herstellen lassen. Ebenso die Individualisierung und kundenspezifische Anpassung des Flugzeuginneren sowie anpassungsfähige Formen.

Die Herstellung mit Additive Manufacturing von komplexen und beweglichen Geometrien ermöglicht in der Luftfahrt nicht nur eine viel

einfachere und schnellere Montage als zuvor, sondern ebenso wird die Wartung der Flugzeuge erleichtert: Zum einen kann der Ersatz beschädigter Teile mit der neuen Technologie enorm vereinfacht werden. Zum anderen müssen viel weniger Ersatzteile als früher auf Vorrat gelagert werden, weil sie sich bei Bedarf just in time produzieren lassen [4].

Das Herstellungsverfahren 3D-Druck ist auch deshalb für die Luftfahrt interessant, weil damit produzierte stabilere Bauteile, wie zum Beispiel die Inneneinrichtung von Flugzeugen, bei gleicher Belastbarkeit erheblich leichter sind als bei herkömmlichen Fertigungsverfahren. Das führt beim Fliegen zu einem geringeren Kerosinverbrauch.

„Über die Betriebsdauer eines Flugzeugs bringt jedes Kilogramm weniger der Airline eine Ersparnis von rund 80.000 Liter Kerosin – und der Umwelt von rund 200 Tonnen CO₂“, schreibt Pierre Christian Fink in Zeit online dazu [5].

Zudem entsteht durch das Drucken der Flugzeugbauteile viel weniger Restmaterial als in der Vergangenheit: Die Bauteile wurden zuvor durch klassische spanabhebende Verfahren aus massiven Titan-Rohlingen gefertigt. Dabei fielen teilweise 90 % des Materials als Späne an. Diese Späne waren für die Herstellung von weiteren Flugzeugteilen aufgrund der hohen Materialanforderungen nicht mehr zu verwerten, da Verunreinigungen der Späne kaum zu entfernen sind und später zu Keimzellen von Rissen führen können.

Mittlerweile werden Flugzeugteile in Serie mit Hilfe von 3D-Druck aus Titanpulver als Bau-Material produziert. Dadurch wird teilweise 90 % des Rohstoffs eingespart. Hinzu kommt, dass das Herstellungsverfahren weniger energieintensiv als ältere Verfahren ist und sich das Gewicht durch die freie Optimierung der Geometrie bei gleicher Bauteilhaltbarkeit reduzieren lässt.

Auch der US-amerikanische Konzern General Electric verfügt über eine Luftfahrt-Abteilung. In dieser werden Teile für Flugzeugmotoren mittels 3D-Druck hergestellt. Eine dort produzierte 3D-gedruckte Kraftstoffdüse für einen Flugzeugmotor erwies sich als um 25 % leichter als die bisherige. Daneben hat sie einen weiteren Nachhaltigkeitseffekt: Sie gilt als ungefähr fünfmal so haltbar wie die früher produzierte Düse, welche aus 20 Einzelteilen hergestellt wurde.

Boeing produziert ebenfalls Flugzeugbauteile mit dem 3D-Druck-Verfahren. Mittlerweile wurde bereits eine ganze Kabine gedruckt.

Im Jahr 2012 hat Boeing bereits mehr als 20.000 3D-gedruckte Teile produziert, so zum Beispiel Luftkanäle und Gelenke. Im luxuriösen Boeing 787 Dreamliner werden rund 30 Teile eingesetzt, die mittels 3D-Druck gefertigt wurden [6].

Airbus experimentiert mit 3D-Druck im wörtlich großen Stil: Mit überdimensionalen 3D-Druckern sollen für zukünftige Flugzeuge Kabinen mit Panoramablick gedruckt werden können. Material- und Gewichtseinsparungen sind auch dabei zu erwarten [7].

Es ist nur eine Frage der Zeit, bis weitere Industriezweige die Fertigung mit 3D-Druck zur Optimierung ihrer Produkte nutzen werden. In einem Bericht aus dem Jahr 2013 stellt Credit Suisse – eines der größten weltweit agierenden Finanzdienstleistungsunternehmen – eine 30%ige jährliche Wachstumsrate für den 3D-Druck im Bereich der Luft- und Raumfahrt in Aussicht [8].

15.4 Die eigene Öko-Bilanz beim 3D-Drucken ermitteln

Nicht zuletzt im Zusammenhang mit der Nachhaltigkeit sind in den vergangenen Jahren immer wieder die Stichworte „carbon foot print“, also die CO₂-Bilanz oder die Öko-Bilanz, oder auch „food miles“ gefallen. Der Begriff „food miles“ bedeutet, dass beispielsweise eine Ananas, die aus dem Ausland für den Verzehr in Deutschland eingeflogen wird, einen sehr langen Weg zurücklegt. Ebenfalls nicht zu vernachlässigen sind die „manufacturing miles“, die sich für alle Güter summieren, die hergestellt werden und anschließend rund um die Welt transportiert werden müssen. Durch die Produktion mit leichten 3D-Druck-Materialien werden nicht nur die Transportkosten geringer. Neben dem wirtschaftlichen Faktor entsteht ein Nachhaltigkeitsfaktor – dadurch, dass die „manufacturing miles“ reduziert werden.

Diese könnten sich zusätzlich durch die zunehmende Verbreitung von 3D-Druckern in Privathaushalten verringern: Wenn in der Zukunft immer mehr Wunsch- oder Spezialteile am heimischen 3D-Drucker selbst ausgedruckt werden könnten, weil die 3D-Modelle dazu online rund um die Uhr erhältlich wären, würden viele Transportwege sogar vollkommen entfallen.

Das britische 3D-Druck-Beratungsunternehmen Econolyst [9] stellte 2012 das Cloud-basierte Software-Tool Willit vor, mit welchem Nutzer von 3D-Druck den Einfluss, den ihre 3D-gedruckten Objekte auf die Umwelt haben, selbst ermitteln können.

Die Anwendung Willit-3D-Print, gesprochen: „Will it 3D print?“, auf Deutsch: „Lässt es sich 3D-drucken?“, ist für Privatanwender gedacht. Auf der Seite www.willit3dprint.com können Sie Ihr STL-Modell hochladen. Willit wird Ihnen danach anzeigen, ob das Modell druckbar ist oder nicht – es funktioniert damit gleichzeitig als Prüfprogramm für die Druckvorbereitung. Was aber das zusätzlich Besondere ist: Noch während der Konstruktionsphase ermöglicht Willit seinen Anwendern, nicht nur die Kosten, sondern ebenso die Qualität und den „carbon footprint“ der zu druckenden Modelle zu ermitteln. Da Willit Cloud-basiert ist, sind weder Software-Downloads noch Plug-ins im Browser erforderlich. Auf die Web-App Willit lässt sich mit Google Chrome, Firefox, Opera und Safari sowohl auf dem Desktop als auch mit Hand-held Devices zugreifen. Das Willit-Tool ist kostenlos.

15.5 3D-gedrucktes Fleisch könnte Tiere und Ressourcen schonen

Gabor und Andras Forgacs haben das US-amerikanische Bioprinting-Unternehmen Organovo [10] mitgegründet. Mittels Tissue Engineering – einer künstlichen Herstellungsmethode von biologischem Gewebe durch Zellkultivierung – produzieren sie Gewebe, um daran Medikamententests durchzuführen. In Zukunft sollen mit dieser Technologie auch 3D-gedruckte, transplantierbare Organe hergestellt werden können.

Vater und Sohn Forgacs haben jedoch noch eine darüber hinausgehende Zukunftsvision: den Hunger in der Welt mit Hilfe von 3D-gedrucktem Fleisch abzuschaffen und damit zugleich die Massentierhaltung überflüssig zu machen. Dazu haben sie ein weiteres Unternehmen mit dem Namen Modern Meadow – die „Moderne Weide“ – mitgegründet [11]. Dieses will mittels Tissue Engineering künstliches Fleisch herstellen. Bau-Material wäre eine Art „Bio-Tinte“ aus sich ständig vermehrenden Zellkulturen. Bisher in Versuchen gedrucktes Fleisch sei sowohl essbar als auch verträglich gewesen. Ein genießbarer Burger – wenngleich

nicht 3D-gedruckt, aber so doch schon mit Tissue Engineering hergestellt – wurde in London im Juli 2013 vorgestellt. Allerdings ist selbst bei Genießbarkeit des künstlichen Fleisches wegen der zahlreichen Auflagen sicherlich nicht in der nahen Zukunft zu erwarten, dass eine Zulassung dafür erteilt wird und wir bald 3D-gedrucktes Fleisch verzehren werden. Ebenso sind die Kosten auf absehbare Zeit noch zu hoch. Es wurden jedoch von der Thiel Foundation, einer renommierten US-amerikanischen Stiftung, bereits hohe Fördermittel zur Verfügung gestellt, so dass die Produktion von Fleisch mittels 3D-Druck offensichtlich ein Vorhaben ist, das ernst genommen wird. Neben den Tieren würden weitere Ressourcen geschont, wie zum Beispiel Ackerland, Wasser und Energie. Außerdem müssten zahlreiche Chemikalien, die zur Tieraufzucht genutzt werden, gar nicht erst eingesetzt werden. Ganz sicher ist, dass das 3D-gedruckte Fleisch eine bessere Öko-Bilanz hätte als herkömmlich erzeugtes Fleisch – gilt doch die Viehzucht als für einen großen Anteil der Treibhausgasemissionen der Welt verantwortlich.

Literatur

1. www.filabot.com
2. www.3ders.org/articles/20130729-nasa-awards-to-initial-analysis-of-3d-printing-of-biomaterials.html
3. www.mcortechologies.com
4. Universität Paderborn, Heinz-Nixdorf-Institut, DMRC (Direct Manufacturing Research Center)-Studie: Thinking ahead of the Future of Additive Manufacturing – Future Applications, Autoren: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Niklas Echterhoff, Martin Kokoschka, Marina Wall. Paderborn (2012)
5. www.zeit.de/2012/41/3-D-Drucker-Weltwirtschaft/seite-2
6. www.businessinsider.com/boeing-uses-3d-printers-for-airplane-parts-2013-6
7. www.forbes.com/sites/parmyolson/2012/07/11/airbus-explores-a-future-where-planes-are-built-with-giant-3d-printers
8. www.blog.3dprintingmodel.com/2013/09/credit-suisse-3d-printing-is-going-to-be-way-bigger-than-what-the-3d-printing-companies-are-saying-ddd-ssys-xone/?utm_medium=twitter&utm_source=twitterfeed
9. www.econolyst.co.uk
10. www.organovo.com
11. www.modernmeadow.com

Zusammenfassung

Wie wird die Zukunft des 3D-Drucks sein? Werden wir alle uns unsere Turnschuhe selbst drucken? Wird es jedem möglich sein, mit einem eigenen 3D-Drucker zu Hause funktionsfähige Waffen auszudrucken? Und wird damit 3D-Druck zu einer Gefahr statt einem Nutzen für die Menschheit? Was werden die nächsten großen Meilensteine in der 3D-Druck-Technologie sein? Mit dem Kenntnisstand von heute lassen sich nur Meinungen und Prognosen zu den Chancen und Risiken äußern. Dieses letzte Kapitel soll das tun – und außerdem einen Ausblick darauf geben, was in der Zukunft noch möglich werden wird.

16.1 Wie wird sich die 3D-Druck-Technologie weiterentwickeln?

Wie wird sich die 3D-Druck-Technologie weiterentwickeln? Wie schnell und mit welchen Verbesserungen die 3D-Druck-Anlagen in der Zukunft fertigen können, lässt sich nicht mit Sicherheit sagen. Vielleicht werden wir früher online unsere individuell designten 3D-gedruckten Turnschuhe bei den Sportartikelherstellern bestellen können, als wir es jetzt vermuten. Sobald das zu einem wettbewerbsfähigen Preis möglich ist, werden immer mehr Personen ein solches Angebot nutzen – bis es für alle selbstverständlich geworden und aus dem täglichen Leben gar nicht mehr wegzudenken ist. Die Hoffnung auf aus den eigenen Körperzellen gedruckte, funktionstüchtige menschliche Organe wird von Medizinern als nicht unrealistisch betrachtet. Die Frage ist nur: Wann wird ein

Dialyse-Patient tatsächlich erwarten können, seine 3D-gedruckte funktionsfähige Ersatz-Niere eingesetzt zu bekommen? Hier halte ich es für verfrüht, konkrete Prognosen zu treffen, wie zum Beispiel „in 10 Jahren“ oder „in 30 Jahren“. Dass mit Hilfe von 3D-Druck funktionsfähige Organe gedruckt werden können, steht fast außer Frage. Aber wie schnell die Entwicklung sein wird und wie viel Zeit im Anschluss daran die Tests, welche für eine Zulassung erforderlich sind, in Anspruch nehmen werden: Dazu lässt sich keine Prognose stellen. Das kann lange dauern, aber ebenso gut ist es möglich, dass es viel schneller zur Realität wird, als wir es uns im Moment vorstellen können.

16.2 Wird bald jeder Haushalt seinen eigenen 3D-Drucker haben?

Ich halte es für unwahrscheinlich, dass alle Haushalte in absehbarer Zeit ihre eigenen 3D-Drucker in der Wohnung stehen haben werden, um jederzeit alle möglichen Gegenstände des täglichen Bedarfs selbst zu produzieren. Dafür müsste sich neben dem umfänglichen Know-how, das für die Herstellung benötigt wird, jeder Haushalt einen großen Maschinenpark zulegen. Wie Sie seit der Lektüre dieses Buchs wissen, kommt bei den zahlreichen unterschiedlichen 3D-Druck-Technologien und Baumaterialien nicht jedes Verfahren für jedes Objekt gleichermaßen in Frage. Der kleine Schreibtisch-3D-Drucker, der auf Knopfdruck in verschiedensten Materialien gleichzeitig alles, was wir gern hätten, in jeder Größe fertigen kann, ist bisher nicht in Sicht.

16.3 3D-Druck – eine Technologie zum Nutzen oder zum Schaden der Menschheit?

Selbst wer sich wenig mit dem Thema 3D-Druck beschäftigt, hat schon von den 3D-gedruckten Waffen gehört, weil diese eine große Medienaufmerksamkeit erzeugt haben. Dass Waffen gedruckt werden können, beunruhigt. Zuweilen drängt sich die Frage auf, ob 3D-Druck eine Technologie zum Schaden der Menschheit werden wird. Der 3D-Drucker ist jedoch nur eine Maschine und damit ein Mittel zum Zweck. Er wird

eines Tages funktionsfähige Waffen wie auch funktionsfähige Nieren drucken können. Ebenso käme mittlerweile kaum jemand auf den Gedanken, die Nutzung des Internets in Frage zu stellen, weil sich dort – neben allem anderen – auch Anleitungen zum Bombenbau finden lassen. Ob 3D-Druck zum Nutzen oder zum Schaden wird, hängt allein davon ab, wie wir damit umgehen. Es liegt damit an den Anwendern, ob für die Allgemeinheit etwas Gutes oder Schlechtes mit der Zukunftstechnologie angefangen wird.

So, wie zu befürchten ist, dass 3D-Drucker Verbrechen vereinfachen können, wird ihr Einsatz ebenso zur Aufklärung von Straftaten beitragen. Schon seit Längerem werden aus Phantomzeichnungen und -fotos in Japan „3D-Phantombilder“ der Köpfe der Gesuchten zu Fahndungszwecken gedruckt [1]. Auch dienen die 3D-Drucker zur Modellerstellung von Tatorten.

- **Wichtig: Kontrolle, Sicherheit, Richtlinien** Wie steht es aber überhaupt um die Sicherheit von 3D-gedruckten Objekten? Man könnte sich fragen, ob die Sicherheit von 3D-gedruckten Objekten bisher unter festgelegten Standards gewährleistet war. Die VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik hat in der Richtlinie VDI 3405 Blatt 1 im Wesentlichen zusammengefasst, was bei der additiven Fertigung von Kunststoffbauteilen wichtig ist. Neben der Prüfung des Ausgangswerkstoffs gehören dazu die interne Prozessüberwachung sowie die Überprüfung der Eigenschaften von Bauteilen anhand von Beispiel-Bauteilen. Für die Planung der Produkte im Voraus ist es vor allem für Konstrukteure von hoher Bedeutung, über die mechanischen Eigenschaften der additiv hergestellten Bauteile gut informiert zu sein.

16.4 3D-Druck: Auf jeden Fall ein Wachstumsmarkt

Die meisten Anwendungen der Hochtechnologie 3D-Druck gibt es derzeit nach wie vor in der Industrie. Das Unternehmen Wohlers Associates mit Sitz in Fort Collins, Colorado, berät zu Entwicklungen und Trends auf dem Gebiet Rapid Product Development/Additive Manufacturing. Wohlers Associates prognostiziert ein vielversprechendes Wachstum im

Bereich Additive Manufacturing: Global wird ein Umsatz von 6 Mrd. USD bis zum Jahr 2017 für die Branche erwartet [2].

16.5 Was werden die nächsten großen Meilensteine im 3D-Druck sein?

16.5.1 Das 3D-Drucken zusammen mit Elektronik

Bereits im Juli 2012 berichtete das britische Wirtschaftsmagazin *Economist* [3] über eine Vision zur Massentauglichkeit von Elektronik, die mittels 3D-Druck direkt in Produkte integriert werden kann. Das US-amerikanische Unternehmen Optomec befasste sich damit, Applikationen zu entwickeln, welche es ermöglichen könnten, ein Telefon mitsamt seiner Elektronik zu drucken. Neben den Antennen würde das die Verbindungen für den Bildschirm, für Chips sowie mehrschichtige Schaltkreise und Touchscreen-Teile betreffen. Sogar die Batterie solle druckbar sein. Die größte Schwierigkeit bestehe darin, die Chips zu drucken, welche als das „Gehirn“ des Telefons gelten. Diese beinhalten in einem Quadratmillimeter Millionen von Transistoren und werden gegenwärtig in Chipfabriken produziert. Chipfabriken wiederum kosten Milliarden von Dollars und setzen eine sehr aufwendige Technologie ein. Selbst wenn nur einige Schaltkreise integriert werden könnten, würde das die Telefongehäuse nicht nur schlanker machen, sondern zusätzlich die Material- und Montagekosten reduzieren.

Das US-amerikanische Unternehmen Xerox hat in seinem Forschungszentrum in Kanada bereits eine Art Silber-Tinte entwickelt, die es ermöglicht, flexible elektronische Schaltungen auf Materialien wie Plastik oder Textilien zu drucken. Silber ist als Material teuer und gilt als schwierig zu drucken, weil es erst bei 962 Grad Celsius schmilzt. Die von Xerox speziell entwickelte Silber-Tinte schmilzt jedoch schon bei einer Temperatur von weniger als 140 Grad Celsius.

Auch im Xerox-Forschungszentrum von Palo Alto (PARC) wird für die Batterien der Zukunft experimentiert. Fast wie Zahnpasta mit zwei Streifen werden gegenwärtig Kathoden gedruckt. Eines Tages sollen für komplette Batterien fünf verschiedene Materialien durch Düsen gedruckt

und gedruckt werden: Jeweils zwei für die Kathode und die Anode und ein separierendes Material.

2013 wurde bekannt, dass Forscher an der Harvard University und der University of Illinois möglicherweise die Lösung für die 3D-gedruckte Batterie gefunden haben: Diese ist kleiner als ein Sandkorn, verfügt jedoch über eine Flächenenergie und eine Leistungsdichte, die mit der Batterie eines Mobiltelefons vergleichbar ist. Die Forscher nutzten eine spezielle Tinte, welche mit „Lithium-Metall-Oxid“-Nanopartikeln für die Anode angereichert wurde und druckten diese zusammen mit einer Tinte für die Kathode in haarfeine Strukturen auf einen Goldkontakt zu einer Lithium-Batterie auf. Diese Mini-Batterien könnten eines Tages in medizinischen Hilfsmitteln, tragbaren elektronischen Geräten oder winzigen fliegenden Drohnen zum Einsatz kommen [4].

16.5.2 Mit verschiedenen Bau-Materialien gleichzeitig drucken

Ich habe am Anfang dieses Kapitels geschrieben, dass ich es für unwahrscheinlich halte, dass wir uns bald alles selbst zu Hause ausdrucken werden. Der Grund dafür sei unter anderem, dass es den Drucker, der in verschiedensten Materialien gleichzeitig drucken kann, nicht gibt. Das bedeutet jedoch nicht, dass es ihn nie geben wird. An dem Multi-Material-Druckkopf, der gleichzeitig mehrere Materialien drucken kann, wird schon gearbeitet.

Das britische Unternehmen The Technology Partnership (TTP) [5] hat 2013 den Druckkopf Vista entwickelt, der – anders als bisherige Druckköpfe – sowohl organische als auch anorganische Bau-Materialien, darunter Keramik, Metalle, Kunststoffe, Enzyme und sogar biologische Zellen, gleichzeitig ausdrucken kann. Das würde die Möglichkeit bieten, so vielfältige Objekte wie Spielzeug, Medizinprodukte, Flugzeugteile und sogar diagnostische Teststreifen „mit nur einem Kopfdruck“ zu erzeugen. Im Moment ist es Zukunftsmusik, aber ein Durchbruch mit dieser neuen Technologie könnte die Art der Herstellung in den nächsten zehn Jahren stark verändern.

16.5.3 Auf dem Mond drucken

16.5.3.1 Electron Beam Freeform Fabrication als ein 3D-Druck-Verfahren für den Weltraum

Auch die NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) nutzt die Technologie des 3D-Drucks. Bereits seit längerer Zeit forscht sie im Bereich der Contour-Crafting-Technologie, um Gebäude im Weltraum errichten zu können.

Sehr nützlich wäre es für die NASA, auf der Weltraumstation ISS direkt einen 3D-Drucker „vor Ort“ zu haben. Nicht nur wegen des Platzmangels wird das schwierig. Dazu kommt die Problematik, dass die mittels 3D-Druck herzustellenden Ersatzteile in der Schwerelosigkeit produziert werden müssten. Schon in der Vergangenheit experimentierte die NASA mit *EBF 3 – Electron Beam Freeform Fabrication* –, einer Art 3D-Druck-Verfahren für den Weltraum, das selbst in der Schwerelosigkeit funktioniert. Bei diesem Verfahren wird in einem Vakuum ein Metalldraht durch einen Elektronenstrahl geschmolzen. Am besten vorstellen kann man sich EBF 3 als eine Art Mischung aus Inkjet-Technologie und Schweißen. Wie bei jedem anderen 3D-Druck-Verfahren wird das Objekt Schicht für Schicht aufgebaut. So könnten direkt im Weltraum Metall-Ersatzteile mit dem eigenen 3D-Drucker entstehen [6].

Für den Weltraum wird jetzt schon auf der Erde gedruckt: Mit dem Verfahren des Selektiven Laserschmelzens (SLM) produziert die NASA Raketenteile. So wurde 2013 aus Metallpulver eine Düse für das Raketenprogramm gedruckt. Was besonders interessant ist: Mittels 3D-Druck wird es möglich, den Antrieb in nur zwei Teilen zu produzieren. Herkömmlich hergestellte Düsen mussten aus bis zu 115 Einzelteilen montiert werden [7]. Dadurch, dass die 3D-gedruckten Teile nicht zusammengeschweißt werden müssen, sind sie von der Struktur her stabiler. Das erhöht insgesamt die Sicherheit des Raumfahrzeugs. Zusätzlich ist diese Art der Herstellung sowohl preiswerter als auch schneller als die frühere, weil zahlreiche Montagestunden entfallen. Es erklärt sich von selbst, dass auch die Wartung bei einem Objekt, das aus zwei statt aus 115 Teilen besteht, nicht nur einfacher, sondern ebenfalls kostengünstiger wird.

Den ersten 3D-Drucker, der per Schmelzschichtung und mit dem Extrusionsverfahren in der Schwerelosigkeit drucken soll, liefert das US-amerikanische Unternehmen *Made in Space*. Zunächst sollen mit diesem 3D-Drucker Ersatzteile aus Kunststoff produziert werden. Denn Werkzeuge gehen den Astronauten im Weltall manchmal verloren. Kleinere Teile, wie zum Beispiel Halterungen oder Federn, nutzen ab oder werden beschädigt. Wenn die Raumstation ISS über einen 3D-Drucker verfügte, könnten diese Teile durch 3D-gedruckte Ersatzteile vor Ort direkt ausgetauscht bzw. ersetzt werden. Ein Nachteil, der sich durch die Schwerkraft für 3D-Druck-Anlagen ergibt, sind die beim Druck erforderlichen Stützstrukturen – und vor allem deren anschließende Entfernung. Das ist ein Problem, das in der Schwerelosigkeit entfällt: Hier kann in der Tat „in die Luft gedruckt“ werden. Fast ohne Stützmaterial, das nachträglich entfernt oder entsorgt werden müsste.

16.5.3.2 Der große 3D-Drucker D-Shape kann ganze Gebäude drucken

Der Italiener Enrico Dini gilt als der Erfinder des gegenwärtig größten 3D-Druckers. Der riesige 3D-Drucker mit dem Namen D-Shape [8] soll mittels Contour Crafting komplette Gebäude vollkommen automatisch drucken, indem er schichtweise Sand oder auch andere Materialien übereinander aufbaut. So wird es Architekten ermöglicht, mit dem Bau-Roboter direkt die entworfenen, zum Teil sehr komplexen Gebäude zu drucken. Wie bei jedem anderen 3D-Drucker werden die Architekturmodelle als STL-Dateien an die Maschine übermittelt. Es wird Schicht für Schicht gedruckt – nur erheblich schneller als bei herkömmlichen 3D-Druckern. Die Sandschichten werden mit einem anorganischen Binder zusammengehalten, der aus Hunderten von Düsen auf den Sand gespritzt wird. Das Bau-Material wird am Ende als ein zwar künstlicher, aber widerstandsfähiger und zudem umweltfreundlicher Sandstein verfestigt.

Trotz des verhältnismäßig hochpreisigen Binders, der zum Verfestigen des Bau-Materials erforderlich ist, seien die Kosten zwischen 30 bis 50 Prozent geringer als beim herkömmlichen Bau von Gebäuden.

16.5.3.3 Mit der NASA Gebäude auf dem Mond drucken

Derzeit denkt Enrico Dini daran, in Zusammenarbeit mit der NASA Gebäude auf dem Mond zu drucken. Als Bau-Material wird hier Mondstaub

in Erwägung gezogen. Es wäre sehr gut, auf dem Mond mit dort bereits vorhandenen Materialien drucken zu können, da größere Mengen Baumaterial kaum auf den Mond zu bringen sind. Erste Bauteile wurden schon mit künstlichem Mondgestein produziert. Das Mondsteinimitat mit dem Namen Regolith besteht aus Aluminium, Eisen, Kalzium, Magnesiumoxid und Silizium. Gleichzeitig fördert die NASA ein Projekt, mit welchem ein Astronautennahrung produzierender 3D-Drucker unterstützt wird. Der Vorteil gegenüber dem Dosenessen für Astronauten wäre, dass der 3D-Drucker nur das extrudieren würde, was gerade an Essen gebraucht wird. Der Rest würde sicher aufbewahrt [9].

16.5.3.4 Die ESA plant, eine Mondstation zu drucken

Die *European Space Agency* (ESA) arbeitet ebenfalls an 3D-Druck auf dem Mond. Geplant ist eine ganze Mondstation – unter Mitwirkung von Sir Norman Foster, des britischen Architekten, der unter anderem die gläserne Kuppel auf dem Reichstagsgebäude in Berlin entworfen hat.

Auch der Bau einer Mondstation könnte in der Zukunft erheblich erleichtert werden, wenn dazu ein 3D-Drucker und die auf dem Mond bereits zur Verfügung stehenden Materialien genutzt würden. Vom Londoner Architekturbüro Foster+Partners wurde bereits eine wabenartige Kuppel mit zellenförmig strukturierten Wänden entwickelt. Diese Wände wehren Mikrometeoriten und Weltraumstrahlung ab. Für den Lebensraum der Astronauten verfügt die Kuppel über einen aufblasbaren Druckkörper, der von der Erde mitgebracht wird. Die Außenhülle der Mondstation wird direkt vor Ort aus Mondmaterial mit einem 3D-Drucker hergestellt. Als Standort für die Mondstation hat die ESA den Mond-Südpol erwählt, weil es dort nahezu immer Licht und kaum Temperaturschwankungen gibt. Abbildung 16.1 gibt einen Eindruck von der geplanten Mondstation.

Das Design der Basis wurde durch die Eigenschaften eines 3D-gedruckten Mondbodens vorgegeben. Dazu wurde ein 1,5 Tonnen schwerer Baustein zu Demonstrationszwecken auf der Erde erzeugt – ähnlich dem in Abb. 16.2 gezeigten. Jethro Hon von Foster+Partners bezeichnet das Ergebnis als eine „hohle, geschlossene Zellstruktur, vergleichbar mit der von Vogelknochen, um eine gute Kombination aus Stabilität und Gewicht zu erhalten.“



Abb. 16.1 Mondstation (ESA/Foster+Partners)



Abb. 16.2 Ein 3D-gedruckter Baustein demonstriert die Technologie (ESA/Foster+Partners)

„Zunächst mussten wir das simulierte Mondmaterial mit Magnesiumoxid vermischen. Dadurch wird es zu ‚Papier‘, mit dem wir drucken können“, erklärte Enrico Dini. „Die Struktur gebende ‚Tinte‘ stellen wir mit der Zugabe eines bindenden Salzes her, welches das Material in einen steinartigen Festkörper verwandelt. Unser gegenwärtiger Drucker baut durchschnittlich etwa 2 Meter pro Stunde. Unser Modell der nächsten Generation sollte jedoch 3,5 Meter pro Stunde schaffen, womit innerhalb einer Woche ein komplettes Gebäude fertig gestellt werden könnte.“ [10]

Die ESA prüft das additive Schichtbauverfahren als Teil ihrer „Clean Space“-Initiative. Dabei sei es ihr Ziel, innovative Technologien so zu nutzen, dass die Auswirkungen der Raumfahrtindustrie auf die Umwelt reduziert werden.

- **Wichtig** Das Unternehmen Made in Space wurde im August 2010 gegründet und arbeitet mit der NASA zusammen. Es befasst sich mit 3D-Druck im Weltraum und hat eine interessante Webseite, die „Made in Space – Untertitel: Additive Manufacturing for Space“ (www.madeinspace.us) heißt. Auf dieser Webseite können Sie viele der aktuellen Entwicklungen verfolgen und Forschungsergebnisse ansehen. Zum Beispiel zu dem 3D-Drucker, den die NASA auf die internationale Raumstation ISS schicken möchte. Dieser 3D-Drucker soll ohne Gravitation Objekte erstellen können.

Literatur

1. www.3ders.org/articles/20130819-japanese-police-use-3d-printing-to-help-find-wanted-criminals.html
2. www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/6294/The-Future-of-3D-Printing-With-Terry-Wohlers.aspx
3. „The Economist“ (Ausgabe 28. Juli – 03. August 2012), „Print me a phone“
4. www.bbc.co.uk/news/technology-22191650
5. www.3ders.org/articles/20130904-uk-company-ppt-unveils-multi-material-3d-printing-breakthrough.html
6. www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2177626/Made-space-Nasa-tests-3D-printers-let-Mars-bound-astronauts-craft-equipment-travel.html

-
7. www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/konstruktion/antriebstechnik_steuerungstechnik/articles/416179/
 8. www.d-shape.com
 9. www.nasa.gov
 10. www.esa.int

Kurzbiografie

Petra Fastermann (MA, University of Toronto, Kanada) ist Autorin und gleichzeitig Geschäftsführerin der Fasterpoly GmbH, Düsseldorf.

2010: Gründung der Fasterpoly GmbH als 3D-Druck-Dienstleister in Düsseldorf. 2011: Auszeichnung mit dem „Unternehmerinnenbrief Nordrhein-Westfalen“ für das Start-up Fasterpoly. 2012: Veröffentlichung des Buchs: „3D-Druck/Rapid Prototyping: Eine Zukunftstechnologie – kompakt erklärt“ im Springer-Verlag. Januar 2013: Veröffentlichung des Buchs: „Die Macher der dritten industriellen Revolution: Das Maker Movement“ bei Books on Demand. Verfasserin regelmäßiger Internet-Beiträge zu 3D-Druck für den *FasterBlog* auf www.fabmaker.com und in der *Kolumne von Petra Fastermann: Wie der 3D-Druck die Welt verändert* auf www.3d-print-news.de.

Weiterführende Literatur/Internetlinks

Obwohl mein Name alphabetisch nicht oben anzuordnen ist, nenne ich meine eigenen Bücher zuerst. Der Grund dafür ist, dass nahezu alle Kapitel in diesem Buch unter anderem auf diesen beiden Büchern basieren. Um sie nicht im Literaturverzeichnis jeweils am Kapitel-Ende zu wiederholen, werden sie hier unter weiterführender Literatur einmal genannt. Wenn am Ende eines Kapitels keine Literatur angegeben ist, habe ich nur die beiden folgenden Bücher zu Rate gezogen.

Petra Fastermann, Die Macher der dritten industriellen Revolution: Das Maker Movement, BoD – Books on Demand, Norderstedt, 2013

Petra Fastermann, 3D-Druck/Rapid Prototyping. Eine Zukunftstechnologie – kompakt erklärt, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012

Weitere Buchempfehlungen zu 3D-Druck

Jannis Breuninger, Ralf Becker, Andreas Wolf, Steve Rommel, Alexander Verl, Generative Fertigung mit Kunststoffen: Konzeption und Konstruktion für Selektives Lasersintern, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013

Oliver Bothmann, 3D-Druck-Praxis: Alles für den Start, Verlag für Technik und Handwerk neue Medien GmbH, 2013

Andreas Gebhard, Generative Fertigungsverfahren: Rapid Prototyping – Rapid Tooling – Rapid Manufacturing, Hanser-Verlag, München, 2008

Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte – Rapid Prototyping: Grundlagen, Rahmenbedingungen und Realisierung (VDI-Buch), Herausgeber: Bernd Bertsche, Hans-Jörg Bullinger, Verlag Springer Berlin Heidelberg, 2007

Michael F. Zäh, Wirtschaftliche Fertigung mit Rapid-Technologien: Anwender-Leitfaden zur Auswahl geeigneter Verfahren, Hanser-Verlag, München, Wien, 2006

Bre Pettis, Getting Started with MakerBot, Verlag O'Reilly Media, USA, 2012 – Sprache: Englisch

Patrick Hood-Daniel, Printing in Plastic: Build Your Own 3D Printer (Technology in Action), USA, 2011 – Sprache: Englisch

Einführung in Kostenlos-Software

Sandeep Singh, Beginning Google Sketchup for 3D Printing, Verlag Apress, New York, 2010 – Sprache: Englisch

Carsten Wartmann, Das Blender-Buch: 3D-Grafik und Animation mit Blender 2.5, 4. Auflage, d.punkt.verlag GmbH, Heidelberg, 2011

Blender 2.6 – Das umfassende Training von Galileo Press ist ein Video-Lehrprogramm (Trainer: Sebastian König), das unter Windows, Linux und Mac OS X läuft.

Wichtig Tagesaktuelle Nachrichten zu 3D-Druck finden Sie auf Deutsch online unter www.3druck.com.

Sachverzeichnis

3D-CAD-Datei, [12](#)
3D-CAD-Modell, [7](#), [11](#)
3D-CAD-Programm, [12](#)
3D-CAD-Software, [45](#)
3D-CAD-Volumenmodell, [12](#)
3D-Druck-Dienstleister, [8](#), [17](#), [48](#), [51](#), [66](#)
3D-Druck-Technologien, [17](#), [25](#)
3D-Multifunktionsgeräte, [88](#)
3D-Pulverdruck (3DP), [26](#)
3D-Scan, [12](#), [77](#), [81](#), [89](#)
3D-Scanner, [77](#)

A

ABS, [32](#)
Additive Fertigung, [11](#)
Additive Manufacturing, [11](#), [25](#), [109](#),
[124](#)
additives Herstellungsverfahren, [11](#)

B

biokompatible Kunststoffe, [97](#)
Biopolymer, [32](#)
Bio-Printing, [98](#)

C

Contour Crafting, [42](#), [120](#), [121](#)
Crowdfunding, [7](#), [104](#)
Crowdsourcing, [7](#)

D

Digital Fabrication, [12](#)

Digital Light Processing (DLP), [37](#)

E

EBF 3 – Electron Beam Freeform
Fabrication, [120](#)
Elektronenstrahlschmelzen
(EBM – Electron Beam Melting),
[31](#)
elektronische Schaltungen, [5](#)
Endlos-3D-Drucker, [3](#)
EuroMold, [61](#)
Extruder, [33](#)

F

FabLab, [57](#), [72](#)
FabLab Charter, [57](#)
FDM, *siehe* Fused Deposition Modeling
Filament, [34](#), [73](#), [104](#)
Film Transfer Imaging (FTI), [37](#)
Fused Deposition Modeling, [24](#), [31](#), [66](#)
Fused Filament Fabrication (FFF), [32](#)

G

generative Fertigung, [25](#)
generatives Fertigungsverfahren, [11](#)

I

Implantate, [96](#)
Infiltration, [26](#)

K

Kickstarter, [104](#)

L

Laminated Object Modeling (LOM)
oder Folienlaminier-3D-Druck, [39](#)

Lasersintern, [3](#), [12](#), [28](#), [66](#)

M

Maker Faire, [62](#)

Mehrkomponenten-3D-Drucken, [38](#)

Monomer, [18](#)

Multi-Jet Modeling (MJM), [34](#)

N

Napsterisierung, [89](#)

O

Öko-Bilanz, [111](#)

Open Source, [7](#)

Open-Source-3D-Drucker, [69](#)

P

Photopolymere, [18](#), [34](#), [36–39](#)

PLA, [32](#), [108](#)

plenoptische Kamera, [83](#)

PolyJet, [17](#), [19](#), [38](#), [66](#), [74](#)

Polymer, [18](#)

Polymerisation, [18](#)

Produktpiraterie, [89](#)

Punktwolke, [77](#)

R

Rapid Prototyping, [11](#), [23](#), [25](#)

Rapid.Tech, [61](#), [81](#)

Reparatursoftware, [15](#)

Replicating Rapid Prototyper – RepRap, [70](#)

S

Scan-LED-Verfahren (SLT), [36](#)

Selective Deposition Lamination (SDL), [40](#)

Selective Heat Sintering (SHS), [29](#)

Selektives Laserschmelzen (SLM), [30](#), [120](#)

Selektives Lasersintern, *siehe*
Lasersintern

Stereolithografie, [12](#), [35](#)

Stick Deposition Molding (SDM), [33](#), [74](#)

STL-Datei, [14](#), [68](#), [78](#)

STL-Format, [14](#)

Stützmaterial, [17](#), [19](#), [121](#)

subtraktives Herstellungsverfahren, [11](#)

Support-Material, [17](#), [39](#)

T

Tauschplattform, [51](#)

Tissue Engineering, [97](#), [98](#), [112](#)

U

Urheberrecht, [82](#), [90](#)

V

Volumenmodell, [12](#)

Voxel, [18](#), [39](#), [78](#)

W

wasserdichtes Modell, [12](#)

Webinar, [67](#)