

Jana Meisinger

3D-Druck von Baumkuchen bis Bioprinting.
Technologieüberblick und Bewertung von
Zukunftsaussichten

Studienarbeit

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Impressum:

Copyright © 2016 GRIN Verlag
ISBN: 9783668286153

Dieses Buch bei GRIN:

<https://www.grin.com/document/338917>

Jana Meisinger

3D-Druck von Baumkuchen bis Bioprinting. Technologie- überblick und Bewertung von Zukunftsaussichten

GRIN - Your knowledge has value

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite www.grin.com ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

Besuchen Sie uns im Internet:

<http://www.grin.com/>

<http://www.facebook.com/grincom>

http://www.twitter.com/grin_com

Hochschule Rosenheim
Fakultät für Informatik

Master-Seminararbeit
2016

Jana Meisinger

3D-Druck

Von Baumkuchen bis Bioprinting

Technologieüberblick und Bewertung von
Zukunftsaussichten

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit 3D-Druck: Den Begriffen und Verfahren sowie den Auswirkungen auf verschiedene Bereiche heute und in Zukunft.

Dafür wird in Kapitel 1 zunächst der Hintergrund der Arbeit erläutert.

Anschließend wird in Kapitel 2 kurz die Geschichte des 3D-Drucks mit den wichtigsten Daten wiedergegeben.

Der Hauptteil der vorliegenden Arbeit beginnt mit Kapitel 3, welches zunächst die wichtigsten Begriffe aus dem Umfeld des 3D-Drucks erläutert, ehe einige ausgewählte Druckverfahren genauer vorgestellt werden. Auch eine kurze Übersicht über die Materialien, die für den Druck genutzt werden, wird gegeben. Zuletzt wird die Problematik der Nomenklatur einiger Druckverfahren sowie anderer Begriffe erläutert.

Als Nächstes wird in Kapitel 4 auf die Anwendungsmöglichkeiten eingegangen, die sich gegenwärtig bereits für 3D-Drucker bieten und welche Auswirkungen sich durch sie für die jeweiligen Branchen ergeben. Dabei reicht das Spektrum von der industriellen Fertigung über die Logistik und Mode bis hin zum medizinischen Bereich.

Zuletzt werden in Kapitel 5 die Zukunftsaussichten für den 3D-Druck in den ausgewählten Bereichen dargelegt. Dabei werden die Branchen aus Kapitel 4 soweit als möglich erneut aufgegriffen oder erweitert, um etwa auch den potenziellen Einsatz im Militär sowie Bioprinting einzuschließen.

Abschließend wird in Kapitel 6 ein Fazit gezogen.

Schlagworte: 3D-Druck, Additive Fertigung, Additive Manufacturing, Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund der Arbeit	1
2	Geschichte des 3D-Drucks	3
3	Druckverfahren und -materialien	6
3.1	Begriffserklärung	6
3.1.1	Additive Manufacturing (AM) und Generative Fertigungsverfahren	6
3.1.2	Rapid Prototyping (RP)	7
3.1.3	Rapid Tooling (RT)	7
3.1.4	Rapid Manufacturing (RM)	7
3.1.5	Rapid-Verfahren im Produktentstehungsprozess	7
3.2	Druckverfahren	8
3.2.1	Fused Deposition Modeling (FDM)	8
3.2.2	Selective Laser Sintering (SLS)	10
3.2.3	Weitere Verfahren	11
3.3	Druckmaterialien	13
3.4	Klassifizierung der Verfahren nach Aggregatzustand	14
3.5	Problematik der Nomenklatur	15
4	3D-Druck in der praktischen Anwendung	16
4.1	3D-Druck nutzende Branchen	16
4.2	Industrielle Fertigung	16
4.3	Logistik	17
4.4	Alltägliches: Mode, Lebensmittel – und Häuser	18
4.5	Funktionierende Schusswaffen	20
4.6	Medizinischer Bereich	21
5	Zukunftsansichten des 3D-Drucks	23
5.1	Die Entwicklung im privaten Bereich	23
5.2	Auswirkungen auf Fertigung und Logistik	24
5.3	Lebensmittel-Druck	25
5.4	Einsatz im Militär	26
5.5	Bioprinting	27
6	Fazit	30
A	Anhang 1: Würfelergebnisse	33
B	Anhang 2: Fotos	34
	Literatur	37
	Magazin	39

Sonstige schriftliche Quellen	41
Internetquellen	42

Abbildungsverzeichnis

2.1 Funktionsweise der Stereolithographie nach U.S. Patent 4.575.330	3
2.2 Gartner Hype-Zyklus	5
3.1 Rapid-Verfahren innerhalb des Produktentstehungsprozesses	7
3.2 Verdeutlichung der Funktionsweise von FDM	8
3.3 Stützkonstruktion	9
3.4 Nudel-3D-Drucker der Firma Barilla	13
4.1 Druckerzeugnis aus Zucker	19
4.2 3D-gedrucktes Implantat mit horizontaler Achse	22
5.1 3D-gedruckter Oktopus aus Kartoffelbrei	25
B.1 Eigene Darstellung: Entstehung der Würfel während des Druckens	34
B.2 Eigene Darstellung: Würfel nach Beendigung des Drucks	35
B.3 Eigene Darstellung: 30 % Füllung des Hohlraumes	35
B.4 Eigene Darstellung: Vergleich der '6'-Seite: Würfel mit '6' (links) und '1' (rechts) als Druckunterseite	36

Tabellenverzeichnis

3.1	Tabellarische Übersicht der 3D-Druckverfahren mit festem Ausgangsmaterial . .	14
3.2	Tabellarische Übersicht der 3D-Druckverfahren mit flüssigem und gasförmigen Ausgangsmaterial	14
A.1	Würfelergebnisse	33

Einleitende Erklärung

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit generell die maskuline Form verwendet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beide Geschlechter.

Des Weiteren werden Begriffe, deren Bedeutung relevant, aber unter Umständen nicht allgemein bekannt sind, in der Fußnote erklärt. Diese sind daran erkennbar, dass der Fußnotenanker in Klammern steht. Auch Anmerkungen zu Begriffen sind auf diese Weise gekennzeichnet.

1 Hintergrund der Arbeit

Das Thema *3D-Druck* ist in den letzten Jahren immer mehr in den Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit gerückt. So sind beispielsweise laut des Anfang 2014 veröffentlichten Ergebnisses einer im Namen des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Bitkom) durchgeführten Studie 20 % der Deutschen Bundesbürger an einem 3D-Drucker interessiert. Unter den 14- bis 49-jährigen sind es sogar 25 %.¹

Nach einer weiteren, 2015 von TNS Emnid im Auftrag der Firma reichelt elektronik durchgeführten, Untersuchung, können sich zwei Drittel der Deutschen, die bisher keinen 3D-Drucker besitzen, vorstellen, privat einen solchen nutzen. Die angegebenen Hauptanwendungsgebiete wären dabei die Herstellung von Deko-Artikeln (54 %), Hobby-Artikeln (53 %) und Ersatzteilen (48 %) nach Vorlagen aus dem Internet (Mehrfachnennungen möglich).²

Von den von TNS Emnid Befragten sind 10 % „entschlossen, sich auf jeden Fall einen 3D-Drucker anzuschaffen“.³ Einer der Hauptgründe dafür ist, dass immer mehr Hersteller erschwingliche 3D-Drucker für Privatanwender auf den Markt bringen. So lag 2014 die Preisspanne von elf durch Philip Steffan in der Computerfachzeitschrift *c't* getesteten Geräten zwischen 375 und 2.300 €.⁴

„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 anwenderfreundlicher und die Lieferzeiten der 3D-Druck-Dienstleister kontinuierlich kürzer.“⁵ Somit wird auf dem Markt „für Privatkunden ein fast monatlich attraktiver werdendes Angebot“⁶ geschaffen.

Teilnehmer einer Studie des IFI Institutes für Innovationsmanagement an der Johannes Kepler Universität in Linz wurden 2014 mit Hilfe eines Online-Fragebogens dazu befragt, wie sehr sie in den nächsten 10 Jahren in verschiedenen Branchen aus Industrie und Dienstleistung Förderungen bzw. Behinderungen erwarten. Über 10 % der Befragten rechneten mit einer hinderlichen Wirkung in den Bereichen Verkehr und Lagerei, Post- Kurier- und Expressdienste sowie dem Handel. Zugleich gingen jedoch etwa 30 % von einer positiven Beeinflussung in jedem der drei Bereiche aus. Mit positiver Auswirkung rechneten über 90 % der Studienteilnehmer in den Bereichen Kraftwagen- und Fahrzeugbau, Gesundheitswesen sowie Forschung und Entwicklung. Nahezu unbeeinflusst blieben die Finanz- und Versicherungsdienstleistungen sowie die Beherbergung und Gastronomie, bei denen über 70 % der Befragten von einer „neutralen Wirkung“ des 3D-Drucks ausgingen.⁷

¹ vgl. Bitkom e.V., *Jeder Fünfte will einen 3D-Drucker nutzen*.

² vgl. reichelt elektronik GmbH & Co. KG, *Zwei Drittel der Deutschen wollen 3D-Drucker nutzen*.

³ Ebd.

⁴ vgl. Steffan, „Elf 3D-Drucker im Test“.

⁵ Fastermann, *3D – Drucken: Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert*, S. 8 f.

⁶ Ebd., S. 8.

⁷ vgl. J. Gartner, Maresch und Fink, *Generative Fertigungsverfahren*, S. 22.

1 Hintergrund der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist, einen Überblick über den aktuellen Stand des Themenfeldes „3D-Druck“ zu geben. Dabei werden unter anderem einige Druckverfahren vorgestellt, um zunächst zu verdeutlichen, wie 3D-Druck funktioniert und dass es „den 3D-Druck“ nicht gibt. Des Weiteren werden die tatsächlichen, derzeitigen Auswirkungen auf einige Branchen analysiert. Abschließend werden ausgewählte Zukunftsaussichten skizziert.

2 Geschichte des 3D-Drucks

Der Großteil der für diese Arbeit herangezogenen Quellen geht nicht auf die Geschichte des 3D-Drucks ein. Die wenigen, die sich mit seinem Ursprung befassen, beginnen stets in den 80er Jahren.^{8,9} Dies mag für moderne Materialien zutreffen, jedoch ist das allen 3D-Druckern zugrunde liegende Verfahren, das verwendete Material schichtweise auf das Werkstück aufzutragen, weitaus älter. Es fand bereits Ende des 17. Jahrhundert Anwendung: Bei der Herstellung von Baumkuchen. Dieser wird produziert indem flüssiger Teig „Schicht für Schicht [...] auf eine Walze aufgetragen [wird], während sich die Walze bei kleinem Feuer dreht [...]“¹⁰ Das Ergebnis dieser Produktionsmethode ist wohlschmeckend und optisch ansprechend.

Im Jahr 1983 erfand Charles 'Chuck' Hull das Stereolithografie-Verfahren, dessen Patent *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography* am 08. August 1984 angemeldet wurde, ehe er 1986 seine Firma 3D Systems gründete¹², die bis heute aktiv im 3D-Druck-Geschäft tätig ist. Abbildung 2.1 zeigt eine Seite der grafischen Beschreibung seines Patents.

Am 17. Oktober 1986 folgte die Patentierung des Selective Laser Sintering-Verfahrens mit dem Patent *Method for selective laser sintering with layerwise cross-scanning*¹³ von Deckard, Beaman und Darrah und am 30. Oktober 1989 meldete Stratasys das Patent *Apparatus and method for creating three-dimensional objects*¹⁴ an, welches zugleich auch zum ersten Mal den bis heute geschützten Begriff Fused Deposition Modeling verwendet.

U.S. Patent Mar. 11, 1986 Sheet 3 of 4 4,575,330

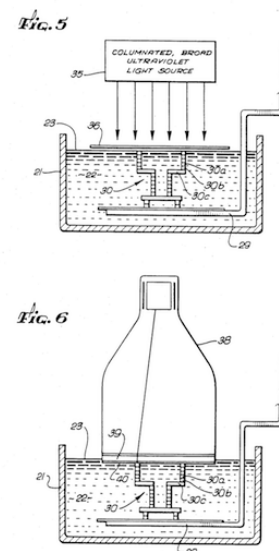


Abbildung 2.1 Funktionsweise der Stereolithografie nach U.S. Patent 4.575.330¹¹

⁸ vgl. Fastermann, *3D-Druck/Rapid Prototyping: Eine Zukunftstechnologie – kompakt erklärt*, S. 5.

⁹ vgl. 3D Printing Industry, *History of 3D Printing: The Free Beginner's Guide*.

¹⁰ Deutscher Konditorenbund (BIV), *Baumkuchen: Der König der Konditorei*.

¹¹ Hull, *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography*

¹² vgl. 3D Systems, *The Journey of a Lifetime*.

¹³ vgl. Deckard, Beaman und Darrah, *Method for selective laser sintering with layerwise cross-scanning*.

¹⁴ vgl. Crump, *Apparatus and method for creating three-dimensional objects*.

2 Geschichte des 3D-Drucks

Im gleichen Jahr wurde in Krailling bei München die EOS GmbH gegründet¹⁵, ein deutsches Unternehmen, welches heute als Weltmarktführer im Bereich des Lasersinterns gilt.^{16, 17}

In den nächsten Jahren wurden eine Reihe weiterer Patente für verschiedene 3D-Druckverfahren angemeldet und weitere Firmen gegründet, von denen heute jedoch nur noch drei existieren – 3D Systems, EOS und Stratasys.¹⁸ Der Fokus des 3D-Drucks lag zu dieser Zeit noch auf der industriellen Fertigung von Prototypen. Die Fertigung von Werkzeugen und fertigen Werksstücken kam um diese Zeit erst langsam auf.¹⁹

2004 lief der Patentschutz des Stereolithografie-Patents aus.²⁰ Im gleichen Jahr hatte Adrian Bowyer die Idee, einen preiswerten 3D-Drucker zu schaffen, mit dem „jeder Einzelne die Dinge, die er braucht, selbst herstellen könnte. Dies würde den Menschen zu Reichtum verhelfen, ganz ohne Abhängigkeit von der Industrie.“²¹ Das dazugehörige Open-Source-Projekt wurde 2005 initiiert.²² Sowohl die Konstruktionspläne als auch die Software wurden unter der GNU General Public Licence veröffentlicht.²³ Dieser als Replicating Rapid-Prototyper (RepRap) bezeichnete 3D-Drucker druckte am 29. Mai 2008 fast alle benötigten Teile, um daraus einen weiteren RepRap zu konstruieren, der nach seinem Zusammenbau das erste „Enkelkind“ in Form eines weiteren RepRaps druckte.²⁴

2009 endete der Patentschutz von Fused Deposition Modeling.²⁵ Von diesem Zeitpunkt an beschleunigte sich die Entwicklung. Im gleichen Jahr entstand mit dem ChocALM ein erster Prototyp für einen auf Schokolade ausgelegten 3D-Drucker.²⁶ 2011 druckte Dr. Anthony Atala einen Prototypen für eine Niere aus lebenden Zellen.²⁷ Anfang 2012 folgte der Markteintritt für den Imagine 3D Printer von Essential Dynamics, der erste serienreife 3D-Drucker für Lebensmittel wie Schokolade und Käse.^{28, 29} 2013 wurde unter dem Namen Liberator die erste funktionstüchtige Waffe gedruckt und erfolgreich abgeschossen.³⁰

Der Patentschutz des Selective Laser Sintering, derzeit das führende Verfahren in der Industrie³¹, lief 2014 aus.³²

¹⁵ vgl. EOS GmbH, *Geschichte*.

¹⁶ vgl. J. Gartner, *EOS GmbH feiert 25-jähriges Bestehen und zieht im neuen Technologie- und Kundenzentrum am Hauptsitz in Krailling ein*.

¹⁷ vgl. Gröneweg, *Revolution in Schichten – 3D Druck und seine künftigen Anwendungen*.

¹⁸ 3D Printing Industry, *History of 3D Printing: The Free Beginner's Guide*.

¹⁹ vgl. ebd.

²⁰ vgl. Gibson, Rosen und Stucker, *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, S. 294.

²¹ vgl. Fastermann, *3D-Druck/Rapid Prototyping: Eine Zukunftstechnologie – kompakt erklärt*, S. 41.

²² vgl. *A History of RepRap Development*, S. 1.

²³ vgl. Bowyer, *RepRapGPLLicence*.

²⁴ vgl. Bernard, *Global Product Development: Proceedings of the 20th CIRP Design Conference, Ecole Centrale de Nantes, Nantes, France, 19th-21st April 2010*, S. 43.

²⁵ vgl. Gibson, Rosen und Stucker, *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, S. 294.

²⁶ vgl. Mend, „Linearantriebe für schnellen Einsatz“, S. 71.

²⁷ vgl. Koll, *Bioprinting: Chancen, Grenzen und Herausforderungen beim gezielten Drucken von Zellen*.

²⁸ vgl. J. Gartner, *Imagine 3D-Printer: Der erste Lebensmittel 3D-Drucker am Markt*.

²⁹ vgl. Essential Dynamics, *Press Releases*.

³⁰ vgl. Greenberg, *Meet The 'Liberator': Test-Firing The World's First Fully 3D-Printed Gun*.

³¹ vgl. Langer, „Kein Plug and Play“, S. 35.

³² vgl. J. Gartner, *2014 laufen die Patente für Lasersintern aus: neuer Boom erwartet*.

2 Geschichte des 3D-Drucks

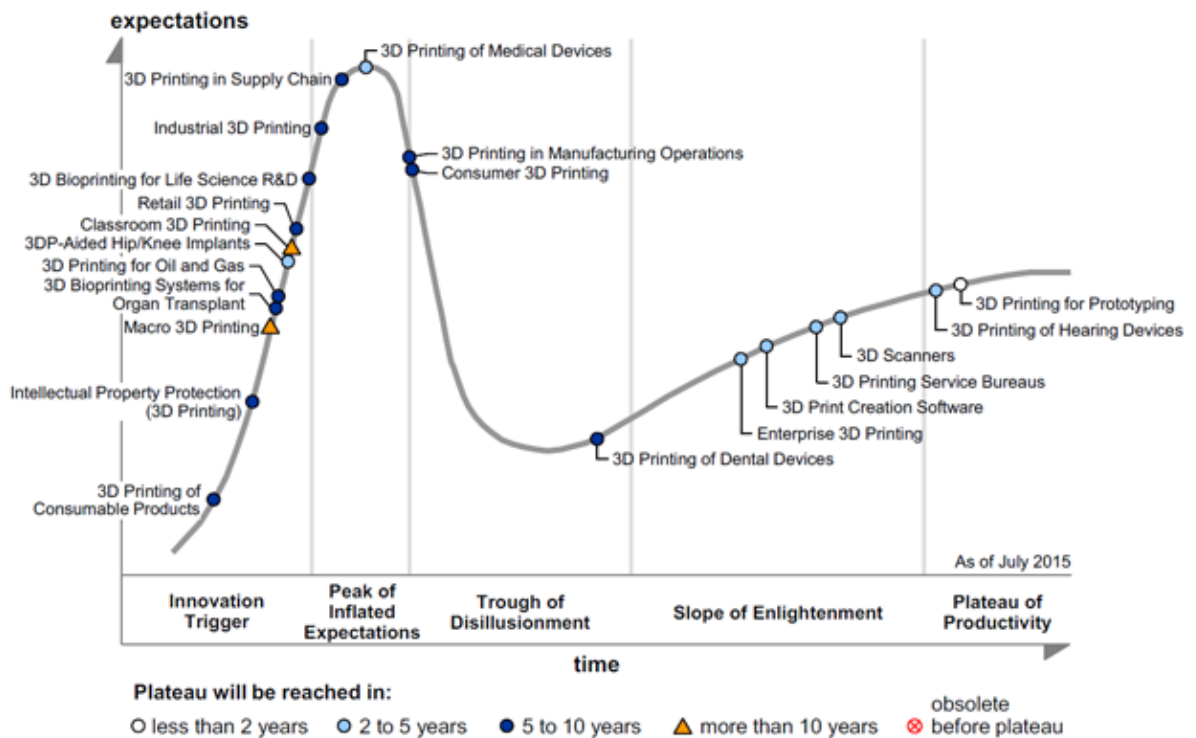


Abbildung 2.2 Gartner Hype-Zyklus³³

Im Jahr 2015 wurde von dem Marktforschungsunternehmen Gartner ein Hype-Zyklus speziell für 3D-Druck veröffentlicht. Laut diesem haben die Herstellung von Prototypen und Hörgeräten das *Plateau der Produktivität* (Plateau of Productivity) nahezu erreicht, während beispielsweise Bioprinting sich noch auf dem Weg vom *Technischen Auslöser* (Innovation Trigger) zum *Gipfel der überzogenen Erwartungen* (Peak of Inflated Expectations) befindet.³⁴ Grafik 2.2 zeigt die Einschätzung der verschiedenen Bereiche des 3D-Drucks nach Gartner. Dabei zeigt die Y-Achse die Höhe der Erwartung, während die X-Achse den zeitlichen Verlauf seit Bekanntgabe des jeweiligen Produkts/Themas darstellt.

³³ Gartner, *Gartner Says Medical Applications Are Leading Advancement in 3D Printing*

³⁴ vgl. ebd.

3 Druckverfahren und -materialien

Bei 3D-Druckverfahren wird zwischen mehreren, grundsätzlich verschiedenen Techniken unterschieden. So listet beispielsweise die Fachautorin Petra Fastermann 16 verschiedene 3D-Druckverfahren auf.³⁵ Alle derzeit auf dem Markt oder in der Forschung existierenden Verfahren vorzustellen, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, sodass hier nur die geläufigsten der heute im Einsatz befindlichen dargestellt werden. Davor ist es jedoch nötig, eine Übersicht über die gängigen Begriffe der Branche zu geben.

3.1 Begriffserklärung

Im Bereich des industriellen 3D-Drucks gibt es mehrere häufig genannte Termini, die sich auf den ersten Blick sehr ähneln, jedoch unterschiedliche Bedeutungen haben. Einige davon werden in diesem Kapitel näher betrachtet. Diese Begriffe sind *Rapid Prototyping*, *Rapid Tooling* sowie *Rapid Manufacturing*. Auch *Additive Fertigung* / *Additive Manufacturing* und *Generative Fertigungsverfahren* werden in diesem Zusammenhang oft verwendet.

3.1.1 Additive Manufacturing (AM) und Generative Fertigungsverfahren

Im Deutschen auch als *Additive Fertigung* bezeichnet, ist Additive Manufacturing (AM) der Oberbegriff, unter dem alle Schichtbauverfahren zusammengefasst werden.³⁶ Diese Verfahren „[...] schaffen die gewünschte Geometrie durch Aneinanderfügen von Volumenelementen. Man nennt sie Schichtbauverfahren, [weil] die Geometrie aus einzelnen Schichten zusammengesetzt wird.“³⁷ Vereinfacht ausgedrückt wird das Objekt von unten nach oben aufgebaut, indem immer eine neue Schicht Material auf die bereits vorhandenen Schichten aufgetragen wird. Additive Fertigung steht dabei im Gegensatz zu „klassischen subtraktiven Fertigungsverfahren wie Fräsen, Bohren und Drehen, bei denen Material abgetragen wird, um das endgültige Bauteil zu erzeugen.“³⁸

Fast alle herangezogenen Quellen nutzen *Generative Fertigung* als Synonym für AM. Lediglich Prof. Dr.-Ing. Andreas Gebhardt unterscheidet zwischen den beiden Begriffen. Laut ihm liegt der Unterschied darin, dass generative Fertigungsverfahren die additive Fertigung automatisiert übernehmen können und dass „auch die Stoffeigenschaften während des Herstellungsprozesses entstehen.“ Allerdings gibt auch Gebhardt zu, dass diese Entscheidung in der Praxis nicht getroffen wird.³⁹

³⁵ Fastermann, *3D – Drucken: Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert*, S. 33 ff.

³⁶ vgl. Gebhardt, „Grundlagen“.

³⁷ Gebhardt, *Generative Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion*, S. 1.

³⁸ Marquardt, *Statusreport Additive Fertigungsverfahren*, S. 4.

³⁹ Gebhardt, *Generative Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion*, S. 2 f.

In vorliegender Arbeit werden die Begriffe additiv und generativ ebenfalls synonym verwendet und *Additive* bzw. *Generative Fertigung* vereinfachend als *3D-Druck* oder *Druck* bezeichnet.

3.1.2 Rapid Prototyping (RP)

Oft als Synonym für additive Fertigung verwendet⁴⁰, bezeichnet Rapid Prototyping (RP) eigentlich „die Anwendung generativer Fertigungsverfahren zur schnellen und flexiblen Herstellung von Modellen oder Prototypen.“⁴¹ Somit ist RP nur ein Teilbereich des 3D-Drucks für die Konzeptions- und Prototyping-Phase.

3.1.3 Rapid Tooling (RT)

Auch Rapid Tooling (RT) wird fälschlicherweise ebenfalls als Synonym für additive Fertigung genutzt. Korrekterweise bezeichnet es jedoch die Fertigung von Werkzeugen per 3D-Druck.⁴² Das kann entweder durch den direkten Druck des Werkzeugs oder durch den Druck der Negativ-Form geschehen.⁴³

3.1.4 Rapid Manufacturing (RM)

Oftmals ebenso mit additiver Fertigung gleichgesetzt, ist Rapid Manufacturing (RM) eigentlich nur auf die Herstellung fertiger Produkte bezogen. Bei diesen Produkten kann es sich sowohl um Einzelstücke als auch Serienproduktionen handeln. Dabei ist es unwichtig, ob das Produkt in einem Arbeitsgang vollständig gedruckt oder aus mehreren gedruckten Teilen zusammengefügt wird.⁴⁴

3.1.5 Rapid-Verfahren im Produktentstehungsprozess

Abbildung 3.1 zeigt die Verwendung der eben vorgestellten Rapid-Verfahren innerhalb des Produktentstehungsprozesses.

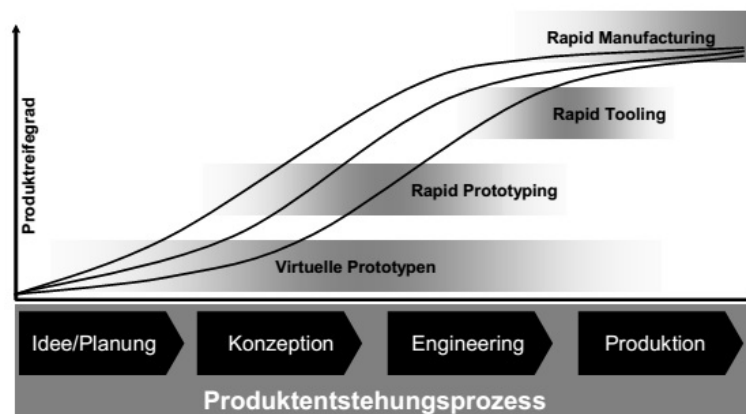


Abbildung 3.1 Rapid-Verfahren innerhalb des Produktentstehungsprozesses⁴⁵

⁴⁰ Gebhardt, *Rapid Prototyping: Werkzeuge für die schnelle Produktentwicklung*, S. 26 ff.

⁴¹ Meindl, *Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing*, S. 18.

⁴² vgl. Thiesse u. a., „Economic Implications of Additive Manufacturing and the Contribution of MIS“, S. 140.

⁴³ vgl. Gebhardt, *Rapid Prototyping: Werkzeuge für die schnelle Produktentwicklung*, S. 29.

⁴⁴ vgl. Gebhardt, *Generative Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion*, S. 9.

⁴⁵ Meindl, *Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing*, S. 19

3.2 Druckverfahren

Claire Warnier u. a. unterteilen in ihrem Buch *Dinge drucken* die 3D-Druckverfahren in zwei Hauptkategorien. Dabei handelt es sich um auf *Bindeverfahren* beziehungsweise auf *Abscheidungsprozessen* basierende Verfahren.

Auf Abscheidungsprozessen basieren alle Techniken, die ein verflüssigtes Material in dünnen Schichten auf eine Platte auftragen. Für Überhänge werden hierbei Stützkonstruktionen benötigt. Bindeverfahren hingegen beginnen mit einer anfangs vorhandenen Schicht eines zumeist pulverförmigen Ausgangsmaterials, welches in Form „gebunden“ wird, wobei nicht gebundenes Material nach Ende des Drucks entfernt werden kann.⁴⁶

Im Folgenden werden das auf Abscheidungsprozessen basierende Schmelzschicht-Verfahren, sowie das Bindeverfahren des Selektiven Lasersinterns näher vorgestellt, da diese zu den wichtigsten in der 3D-Druck-Branche gehören.⁴⁷ Des Weiteren werden unter 3.2.3 drei weitere Verfahren kurz angeschnitten, um einen Einblick in einige weitere der am Markt befindlichen 3D-Druck-Techniken zu geben. Am Ende jedes Unterkapitels werden kurz die Vor- und Nachteile des jeweiligen Verfahrens aufgezeigt. Da, wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erklärt, eine große Vielfalt an Verfahren existiert, muss auf eine vollständige Übersicht in dieser Arbeit verzichtet werden.

3.2.1 Fused Deposition Modeling (FDM)

Auch Schmelzschicht-Verfahren, Fused Layer Modeling (FLM) oder Fused Filament Fabrication (FFF)⁽⁴⁸⁾ genannt, ist Fused Deposition Modeling (FDM) das Verfahren, welches in den meisten 3D-Druckern für Privatanwender Anwendung findet.⁴⁹

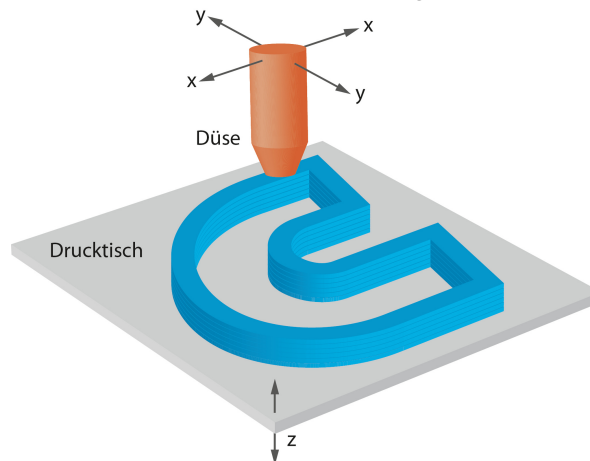


Abbildung 3.2 Verdeutlichung der Funktionsweise von FDM⁵⁰

⁴⁶ vgl. Warnier u. a., *Dinge drucken*, S. 10.

⁴⁷ vgl. ebd., S. 10.

⁴⁸ Die Bezeichnungen *Fused Deposition Modeling* und *FDM* sind von Stratasys patentrechtlich geschützt. FFF wurde als frei verfügbare Bezeichnung daran angelehnt. Fastermann, *3D – Drucken: Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert*, S. 32, Hagl, *Das 3D-Druck-Kompodium – Leitfaden für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber*, S. 25

⁴⁹ vgl. Fastermann, *3D – Drucken: Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert*, S. 32.

⁵⁰ König und Wand, „FAQ: Einstieg in den 3D-Druck“, S. 15



Abbildung 3.3 Stützkonstruktion⁵¹

Dieses Verfahren funktioniert nur mit Werkstoffen, welche bei Erhitzung weich und verformbar werden, etwa „thermoplastische Kunststoffe wie beispielsweise Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) oder Polylactid (PLA), aber auch Modellierwachs und Schokolade.“⁵²

Dabei wird das Material erst in der Düse des Druckers erhitzt und von dort in der X- und Y-Achse in einer dünnen Schicht auf die Druckplatte aufgetragen. Sobald die unterste Schicht vollständig und getrocknet ist, fährt die Plattform in der Z-Achse eine Schichthöhe nach unten, sodass die zweite Schicht auf die erste aufgetragen werden kann. So entsteht nach und nach das gewünschte Objekt von unten nach oben.⁵³ Abbildung 3.2 verdeutlicht dieses Vorgehen.

Bei größeren Überhängen ist es, wie bereits in Kapitel 3.2 erwähnt, nötig, Stützkonstruktionen zu erstellen, da das weiche Material nicht sofort erstarrt und nach unten wegnicken oder abbrechen könnte. Auch Bauteile, die sonst anfangs freischwebend wären, werden von Stützkonstruktionen gehalten. Diese Stützkonstruktionen müssen nach dem Druck entfernt werden.⁵⁴ Ein Beispiel dafür zeigt Abbildung 3.3.

Im Zusammenhang mit dieser Technik werden auch oft die Begriffe *Extrusion* sowie *Extruder* verwendet. Extrusion⁽⁵⁵⁾ bedeutet, dass „Kunststoffe oder andere zähflüssige, härtbare Materialien in einem kontinuierlichen Verfahren durch eine Düse gepresst“⁵⁶ werden. Bei dem Extruder handelt es sich entsprechend um die Düse oder den Druckkopf.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei sechseckige Würfel im FDM-Verfahren gedruckt. Dazu wurde eine Vorlage aus dem Internet genutzt, die möglichst ausbalancierte Würfel ergeben sollte. Gedruckt wurden sie von einem gewerblichem Anbieter mit professionellem 3D-Drucker. Die Maße waren die Standard-Maße mit einer Seitenlänge von je 16 mm. Der Innenraum wurde nur zu 30 % befüllt. Trotzdem betragen die Kosten je Würfel etwa 5€. Eine Versuchsreihe ergab, dass die Würfel nach dem Druck nicht gleichmäßig würfelförmig waren.

⁵¹ Kolossos, *Fused Deposition Modeling*

⁵² König, „So arbeiten 3D-Drucker“, S. 20.

⁵³ vgl. Fastermann, *3D-Druck/Rapid Prototyping: Eine Zukunftstechnologie – kompakt erklärt*, S. 120.

⁵⁴ vgl. ebd., S. 13.

⁵⁵ Aus dem Lateinischen *extrudere*: hinausstoßen, hinaustreiben

⁵⁶ hevo-plastics.com, *Was ist Extrusion?*

Beide wiesen eine leichte Tendenz zur '2' auf, was jedoch vermutlich durch einen Fehler in der Vorlage bedingt war. Auffällig war hingegen, dass beide Würfel seltener die Seite zeigten, die sich beim Drucken unten befand. Bei einem Würfel war dies die '1', bei dem anderen die '6', sodass ein weiterer Fehler in der Vorlage ausgeschlossen werden konnte. Die erwürfelten Zahlen der Versuchsreihe können Anhang A entnommen werden.

Die gesamte Produktionszeit betrug nahezu drei Stunden, wovon nur knapp 45 Minuten für den eigentlichen Druck benötigt wurden. Die Nachbearbeitungszeit, bei welcher die Oberfläche in Aceton-Dämpfen geglättet wurde, betrug etwas über eine Stunde. Die restliche Zeit entfiel auf die Aufwärmphase des Druckers.

Vorteile⁵⁷: stabile Objekte, relativ kostengünstig, große Materialvielfalt

Nachteile⁵⁸: sichtbare Riffelung, Stützkonstruktionen erforderlich, Nachbearbeitung notwendig

3.2.2 Selective Laser Sintering (SLS)

Gegenüber dem soeben beschriebenen FDM, hat das auch als Laser-Sintern bezeichnete Selective Laser Sintering (SLS) (in manchen Quellen auch Direct Metal Laser Sintering (DMLS) für metallene Werkstoffe) den Vorteil, dass keine Stützkonstruktionen benötigt werden. Beim SLS wird eine dünne Schicht eines pulverförmigen Ausgangsmaterials auf die Druckplatte aufgetragen, welches gezielt durch die Bestrahlung mit Lasern verschmolzen oder gesintert⁽⁵⁹⁾ wird. Hierbei handelt es sich um die derzeit führende Technik zur Herstellung von Funktionsteilen in der Industrie.⁶⁰

Einige der verwendeten Pulver bestehen aus einem Gemisch von zwei Materialien: Dem Strukturmaterial (in der Regel Metall oder Keramik), welches einen hohen Schmelzpunkt aufweist und dem Bindematerial, das über einen vergleichsweise niedrigen Schmelzpunkt verfügt. Der Laser erhitzt beide Materialien, bringt jedoch nur das Bindematerial zum schmelzen. Derart verflüssigt füllt es die Hohlräume im Granulat des Strukturmaterials und verbindet dieses, wenn es wieder aushärtet. Die Vorteile dieses gemischten Pulvers gegenüber einheitlichen sind eine schnellere erste Verbindung und sehr gute mechanische Eigenschaften der fertiggestellten Objekte.⁶¹

Überschüssiges Pulver, das nicht Teil des fertigen Objekts ist, übernimmt die Aufgabe der Stützkonstruktion, da es während des gesamten Fertigungsprozesses liegen bleibt. Nach Abschluss des Drucks wird das überschüssige Pulver entfernt und kann im nächsten Druckvorgang wiederverwendet werden.⁶²

Auf diese Weise gedruckte Objekte weisen oft eine raue, sandpapierartige Oberfläche auf, zeichnen sich jedoch durch hohe Robustheit aus. Zusätzlich ist es durch sehr feine Laser möglich, sehr filigrane Objekte zu drucken.⁶³

⁵⁷ vgl. ProTec3D, *Vor- und Nachteile der 3D Druck Technologien*.

⁵⁸ vgl. ebd.

⁵⁹ Sintern: „durch Einwirkung von Hitze [und Druck] oberflächlich schmelzen, zusammenwachsen und sich verfestigen.“ Dudenverlag, *Sintern*

⁶⁰ vgl. Langer, „Kein Plug and Play“, S. 35.

⁶¹ vgl. Kruth u. a., „Lasers and materials in selective laser sintering“, S. 360 f.

⁶² vgl. König, „So arbeiten 3D-Drucker“, S. 21.

⁶³ vgl. ebd., S. 21.

Vorteile⁶⁴: keine Stützkonstruktionen notwendig, große Materialvielfalt, hohe Robustheit
Nachteile⁶⁵: raue Oberfläche, nur einfarbige Modelle möglich, langsam

3.2.3 Weitere Verfahren

Stereolithografie (STL)

Wie in Kapitel 2 beschrieben, gilt Stereolithografie (STL) als „Mutter aller 3D-Druck Verfahren.“⁶⁶ Sie ähnelt dem eben vorgestellten SLS, jedoch mit dem Unterschied, dass das Ausgangsmaterial in flüssiger Form vorliegt und die Druckplatte sich nach und nach in dem Flüssigkeitsbad absenkt. Begonnen wird der Prozess mit einer dünnen Schicht des flüssigen Ausgangsmaterials, aus der die unterste Schicht des Objekts mit einem oberhalb positionierten Laser verfestigt wird. Daraufhin senkt sich die Platte um eine Schichttiefe ab, sodass Flüssigkeit nachfließen und der Laser die nächsthöhere Schicht an den passenden Stellen aushärten kann.⁶⁷ Dieser Vorgang wird sooft wiederholt, bis das Objekt in einem Bad aus Flüssigkeit fertiggestellt ist. „Dabei müssen Stützkonstruktionen am Objekt angebracht werden, damit dieses im Bad nicht schwimmt.“⁶⁸ Auch Verformung wird auf diese Weise verhindert. Die nicht verwendete Flüssigkeit kann in einem späteren Druckvorgang wiederverwendet werden.

Alternativ existieren STL-Drucker, bei denen der Laser unter dem Becken platziert ist. Die bewegliche Bauplattform senkt sich dabei im ersten Schritt ganz dicht an den gläsernen Boden heran und hebt sich im Laufe des Druckvorgangs langsam.⁶⁹ Nach Auskunft von Alfred Tüllmann, Geschäftsführer der *A.T. Consulting & Business Development GmbH* in Bad Aibling, die unter anderem professionelle 3D-Scans und -Drucke anbietet, hat dies zwei Vorteile: Zum einen lässt sich damit eine höhere Genauigkeit bei den Modellen erreichen. Zum anderen verringert sich der Materialbedarf, da der Flüssigkeitsbehälter nicht mehr dem Bauraum entspricht und somit keine zusätzliche Flüssigkeit benötigt, nur um ganz ausgefüllt zu sein. Laut Gebhardt weisen die so entstehenden Modelle „den höchsten Detailreichtum und die besten Oberflächen“ auf.⁷⁰

Vorteile⁷¹: detaillierte und komplexe Formen möglich, transparente Objekte möglich

Nachteile⁷²: Nachbearbeitung mit UV nötig, nur Kunststoffe/Harze als Material möglich

Film Transfer Imaging (FTI)

Es existiert eine große Anzahl an relativ neuen Verfahren, die als solche noch dem Patentschutz unterliegen. Film Transfer Imaging (FTI) soll als solches beispielhaft vorgestellt werden.

FTI funktioniert ebenfalls durch Aushärtung eines flüssigen Ausgangsmaterials. Anders als bei dem soeben vorgestellten STL wird hier jedoch kein Becken voller Flüssigkeit benötigt. Stattdessen wird jede Schicht des Photopolymer-Baumaterials über eine Transportfolie in den

⁶⁴ vgl. ProTec3D, *Vor- und Nachteile der 3D Druck Technologien*.

⁶⁵ vgl. ebd.

⁶⁶ J. Gartner, *Grundkurs 3D-Drucker – Teil 2: Übersicht der aktuellen 3D-Druckverfahren*.

⁶⁷ vgl. Gebhardt, *Understanding Additive Manufacturing*, S. 35 f.

⁶⁸ Riesmeier, *3D-Druck. Auswirkungen auf Fertigungsabwicklung und Logistik*, S. 5.

⁶⁹ vgl. König, *Stereolithographie*.

⁷⁰ Gebhardt, *Rapid Prototyping: Werkzeuge für die schnelle Produktentwicklung*, S. 96.

⁷¹ vgl. ProTec3D, *Vor- und Nachteile der 3D Druck Technologien*.

⁷² vgl. ebd.

3 Druckverfahren und -materialien

Bauraum transportiert. Dort wird der gesamte gewünschte Bereich gleichzeitig mit einem Beamer von unten belichtet, wodurch das Photopolymer aushärtet. Dieses löst sich von der Trägerfolie ab, wenn die Bauplattform nach oben angehoben wird, um es der Transportfolie zu ermöglichen, sich um eine Bauraumabmessung weiterzubewegen oder, je nach System, durch einen Wischer neu beschichtet zu werden. Am Ende des Druckvorgangs wird die Folie ausgetauscht.^{73, 74} Das bekanntere Digital Light Processing (DLP) funktioniert fast identisch.

Vorteile⁷⁵: hohe Genauigkeit, gute Qualität der Druckerzeugnisse

Nachteile⁷⁶: Stützkonstruktionen aufwendig zu entfernen, materialintensiv (verglichen mit STL)

Pulverdruck

Alternativ als Inkjet Powder Printing oder Pulverschichtdruck bezeichnet, arbeitet der Pulverdruck mit einem pulverförmigen Ausgangsmaterial. Dieses wird mit einem Bindemittel schichtweise verklebt. Hierbei ergibt sich der Vorteil, dass verschiedene Farben gedruckt werden können, indem dem Bindemittel ein entsprechender Farbstoff beigemischt wird.⁷⁷

Vorteile⁷⁸: keine Stützstrukturen notwendig, vielfarbige Objekte möglich

Nachteile⁷⁹: teilweise geringe Belastbarkeit der Druckerzeugnisse, raue Oberfläche

Schicht-Laminat-Verfahren

Auch Foliendruck, Laminated Object Manufacturing (LOM) oder Layer Laminated Manufacturing (LLM) genannt, funktioniert dieses Verfahren, indem dünne Schichten des Ausgangsmaterials (u. a. Papier, Kunststoff, Aluminium) auf die vorhergehende Schicht laminiert und mithilfe eines Lasers auf die gewünschte Form zugeschnitten werden.⁸⁰ *Laminiert* heißt in diesem Fall, dass jeweils zwei Schichten des verwendeten Materials mit einer dünnen Schicht Klebstoff verbunden werden.⁸¹ Stützen werden nicht benötigt, da abgeschnittenes Material als Stützmaterial liegengelassen werden kann.⁸² Dieses Verfahren ist jedoch nicht, wie die anderen 3D-Druckverfahren, rein additiv, da als wesentlicher Bearbeitungsschritt überschüssiges Material abgeschnitten und nach dem Druckvorgang weggeworfen werden muss.

Vorteile⁸³: kostengünstig, schnelle Herstellung 'massiver' Druckerzeugnisse

Nachteile⁸⁴: abgeschnittenes Material kann nicht wiederverwendet werden, Herstellung von Hohlräumen schwierig

⁷³ vgl. Gebhardt, *Generative Fertigungsverfahren: Rapid Prototyping – Rapid Tooling – Rapid Manufacturing*, S. 117 f.

⁷⁴ vgl. Protovision3D S.A.S. di Merlano Pier Mario e C., *Stampante 3D Systems ProJet 1500*.

⁷⁵ vgl. Fastermann, *3D-Druck/Rapid Prototyping: Eine Zukunftstechnologie – kompakt erklärt*, S. 122 f.

⁷⁶ vgl. ebd., S. 122 f.

⁷⁷ vgl. Breuninger u. a., *Generative Fertigung mit Kunststoffen*, S. 29.

⁷⁸ vgl. ProTec3D, *Vor- und Nachteile der 3D Druck Technologien*.

⁷⁹ vgl. ebd.

⁸⁰ vgl. Komorowsky, *Generative Fertigungsverfahren*.

⁸¹ vgl. Gebhardt, *Generative Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion*, S. 38.

⁸² vgl. Gebhardt, *Rapid Prototyping: Werkzeuge für die schnelle Produktentwicklung*, S. 144.

⁸³ vgl. ebd., S. 143 f.

⁸⁴ vgl. ebd., S. 143 f.



Abbildung 3.4 Nudel-3D-Drucker der Firma Barilla⁸⁵

3.3 Druckmaterialien

Für den privaten Bereich werden im Moment fast ausschließlich 3D-Drucker, die mit Kunststoffen wie ABS oder PLA arbeiten, angeboten. Dabei handelt es sich in der Regel um Filamente⁽⁸⁶⁾. Industrie-3D-Drucker sind im Gegensatz dazu in der Lage, eine Vielzahl an verschiedenen Materialien zu verarbeiten, deren Eigenschaften schon allein bei den Kunststoffen „von gummiartig bis fest, von transparent bis blickdicht, von neutral bis lebhaft bunt, von Standardkunststoffen bis hin zu bioverträglichen Kunststoffen reichen.“⁸⁷ Diese Drucker sind für Privatanwender aus finanziellen und Platzgründen in der Regel nicht geeignet.

Weitere Materialien, die für die verschiedenen Typen von 3D-Druckern erworben werden können, sind unter anderem Metalle wie Kupfer oder Bronze, verschiedene andere Kunstfasern wie etwa Nylon und holzähnliche Stoffe wie Laywood, einer Mischung aus „40 % recycelten Holzfasern und einem polymeren Bindemittel.“⁸⁸

Auch die ersten Lebensmittel lassen sich, wie bereits im Kapitel 2 erwähnt, mit 3D-Druckern drucken. Abbildung 3.4 zeigt einen 3D-Druck von Nudeln.

Das Magazin 3Druck listete am 23. September 2015 auf seiner Webseite über 440 verschiedene Materialien⁸⁹, wobei diese Liste keine Lebensmittel oder Materialien aus dem medizinischen Bereich enthält.

⁸⁵ CIBUSParma, *Allo stand Barilla prototipo di stampante 3D per la #pasta #cibus2016 #barilla Pad.6 e004*

⁸⁶ Aus dem Lateinischen *filum*, zu Deutsch *Faden*, bezeichnet Filament die fadenförmige Form, in welcher das Ausgangsmaterial in den Drucker gezogen wird

⁸⁷ Stratasys, *Connex3 – Rapid Tooling und Rapid Prototyping mit mehreren Materialien.*

⁸⁸ DDD-Filament.de, *Laywood, ein Holzfilament für 3D Drucker.*

⁸⁹ vgl. 3Druck.com, *3Druck – Material Liste.*

3.4 Klassifizierung der Verfahren nach Aggregatzustand

Tabelle 3.1 Tabellarische Übersicht der 3D-Druckverfahren mit festem Ausgangsmaterial⁹⁰

Stoffzustand	fest			
Form des Ausgangsmaterials	Filament	Pulver		Folie, Platte
Verfestigungsmechanismus	Aufschmelzen und Erstarren	Aufschmelzen und Erstarren	Verkleben durch Bindemittel	Schneiden und Kleben
Verfahren	Extrusion	Sintern Schmelzen	Pulverdruck	Schicht-Laminat
Werkstoffe	Kunststoff Metall	Kunststoff Keramik Metall Sand Lebensmittel	Kunststoff Keramik Metall Sand	Kunststoff Metallfolie Papier

Tabelle 3.2 Tabellarische Übersicht der 3D-Druckverfahren mit flüssigem und gasförmigen Ausgangsmaterial⁹¹

Stoffzustand	Suspension	flüssig	Aerosol	gasförmig
Form des Ausgangsmaterials	Paste	Flüssigkeit	Aerosol	Gas
Verfestigungsmechanismus	Polymerisieren		Abschneiden	Chemische Reaktion
Verfahren	Stereolithographie		Aerosoldrucken	Laser-Chemical-Vapor-Deposition
Werkstoffe	Kunststoff Keramik		Kunststoff	Kunststoff Metall

Um eine bessere Übersicht über die Vielfalt an 3D-Drucktechniken zu geben, listen die Tabellen 3.1 und 3.2 einige nach Aggregatzustand und stofflicher Form sortierte Ausgangsmaterialien. Dazu werden die allgemeinen Druckverfahren mit ihrem jeweiligen Verfestigungsmechanismus und mögliche Werkstoffe gelistet.

⁹⁰ modifiziert nach Gebhardt, *Generative Fertigungsverfahren: Rapid Prototyping – Rapid Tooling – Rapid Manufacturing*, S. 69

⁹¹ modifiziert nach ebd., S. 69

3.5 Problematik der Nomenklatur

Eine Herausforderung, die sich im Zuge dieser Arbeit ergeben hat, sind die sehr unterschiedlichen Benennungen und Abkürzungen identischer Verfahren. Einige davon wurden in Kapitel 3.2 bereits angesprochen. Des Weiteren wird das Verfahren der Stereolithografie in verschiedenen Quellen sowohl als SLA⁹² als auch als SL⁹³ abgekürzt. Auch gibt es je nach Quelle unterschiedliche Angaben darüber, ob ein abschließendes *M* in den Abkürzungen für *Modeling* oder *Manufacturing* steht.⁹⁴ Somit kann beispielsweise LLM sowohl als *Layer Laminated Modeling* als auch als *Layer Laminated Manufacturing* bezeichnet werden.

Eine alternative Bezeichnung für Selective Laser Sintering ist Laser-Sintern, welches entsprechend als SL abgekürzt wird.⁹⁵ Weiterhin kommt hinzu, dass der in 3.2.3 vorgestellte Pulverdruck in vielen Quellen als *3D-Drucken* oder *3D-Printing* (3DP) bezeichnet wird, „was die Begriffsverwirrung noch erhöht.“⁹⁶

Diese Vielzahl an Synonymen hat die Recherche teilweise sehr erschwert.

Im Zuge dieser Arbeit wird versucht, sich auf einen Begriff pro Verfahren zu beschränken, auch wenn die anderen der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Die verwendete Bezeichnung entspricht der Überschrift des jeweiligen Kapitels. Um Missverständnisse zu vermeiden, wird auf den Begriff 3DP komplett verzichtet, auch wenn er in den meisten Quellen die geläufigere Bezeichnung ist.

Von einer Unterteilung in RP, RT und RM wird abgesehen, da diese keine Auswirkung auf den eigentlichen Druck hat. Der Druck eines Prototypen läuft, wenn das gleiche Druckverfahren und das gleiche Material verwendet werden, exakt identisch wie der Druck eines fertigen Produkts ab. Wenn das genutzte Druckverfahren nicht relevant ist, werden in dieser Arbeit sämtliche 3D-Druckvorgänge vereinfachend als *3D-Druck/en* bezeichnet.

⁹² König, „So arbeiten 3D-Drucker“, S. 21.

⁹³ Gebhardt, *Rapid Prototyping: Werkzeuge für die schnelle Produktentwicklung*, S. 81.

⁹⁴ vgl. ebd., S. 81.

⁹⁵ vgl. ebd., S. 122.

⁹⁶ König, „So arbeiten 3D-Drucker“, S. 21.

4 3D-Druck in der praktischen Anwendung

Im privaten Bereich sind die Möglichkeiten für zu druckende Objekte noch stark begrenzt. Die limitierenden Faktoren sind zum einen, dass 3D-Drucker für den Privathaushalt fast immer nur ein Filament gleichzeitig drucken können, zum anderen die relativ geringe Größe des Druckraumes. Als zusätzliche Erschwernisse kommen die Notwendigkeiten hinzu, sich für selbst entworfene Objekte in eine entsprechende 3D-Software einlernen zu müssen und das Objekt nach dem Druck je nach Bedarf weiter zu behandeln, etwa die Oberfläche zu schleifen oder farblich zu gestalten.

Unternehmen hingegen verwenden auf ihre Bedürfnisse abgestimmte 3D-Drucker. Diese ermöglichen gegebenenfalls die Fertigung von größeren Objekten und bieten, je nach zu Grunde liegendem Fertigungsverfahren, die Möglichkeit mehrere Materialien gleichzeitig zu verarbeiten. Für 3D-Konstruktion und Nachbearbeitung werden Fachkräfte eingesetzt. Somit kann eine Vielzahl an unterschiedlichsten Produkten gefertigt werden.

In diesem Kapitel wird der Einfluss, den 3D-Druck bereits heute auf einige Industriezweige hat, näher erläutert.

4.1 3D-Druck nutzende Branchen

In der Industrie ist 3D-Druck keine Seltenheit mehr. Viele Firmen verschiedener Branchen haben schon heute einen Teil ihrer Fertigung auf 3D-Druck umgestellt. Darunter fallen unter anderem die Luft- und Raumfahrt, die Automobilindustrie, die Rüstungsindustrie, aber auch andere wie die Zahnmedizin, Chirurgie und das Bauwesen.⁹⁷

Zum Vergleich: Im privaten Bereich ist die Zahl an 3D-Druckern noch überschaubar. Nur 2 % der von TNS Emnid befragten Deutschen besaßen Mitte 2015 ein solches Gerät. Als Gründe, mit der Anschaffung noch zu warten, wurden Preis und mangelnde Anwendungsmöglichkeiten genannt.⁹⁸

4.2 Industrielle Fertigung

Wie bereits in Kapitel 3.1 dargelegt, wird der 3D-Druck in der Fertigungsindustrie für drei Bereiche verwendet: Prototypen, Werkzeuge und Bauteile. Großes Potenzial zeigt sich für den 3D-Druck dabei besonders bei der Herstellung von Bauteilen. So erklärt Peter Sander, Leiter des Bereichs Emerging Technology & Concepts bei Airbus, dass durch 3D-gedruckte Bauteile bis zu eine Tonne Gewicht pro Flugzeug gespart werden können. Besonders hebt er dabei einen Halter für Hydrauliktanks hervor, der bisher aus 126 Einzelteilen zusammengesetzt werden musste. Die Fertigung im 3D-Druck reduziert nicht nur das Gewicht um die Hälfte, sondern spart zugleich die Lagerkosten für die Einzelteile. Hinzu kommt, dass durch das eingesparte Gewicht der Kerosinverbrauch des Flugzeugs gesenkt werden kann.⁹⁹

⁹⁷ Stratasys, *3D Drucker Industrie – unbegrenzte Möglichkeiten*.

⁹⁸ reichelt elektronik GmbH & Co. KG, *Zwei Drittel der Deutschen wollen 3D-Drucker nutzen*.

⁹⁹ vgl. Sander, „Unvorstellbares Potenzial“, S. 31 f.

Für die Automobil-Branche im Rennsport ist der Gewichtungsfaktor ebenfalls relevant. Hier wurde der 3D-Druck anfangs dafür genutzt, Prototypen für den Windkanal zu produzieren. Heute werden auch Bauteile für die eigentlichen Rennfahrzeuge gedruckt.¹⁰⁰ Zudem untersucht Mercedes Benz, ob sich das serienmäßige Drucken von Teilen der Innenverkleidung, wie etwa der Lüftungsklappen oder des Lautsprechergrills, für die S-Klasse rechnet.¹⁰¹ Der Firma Siemens ist es inzwischen gelungen, die Kosten für die Reparatur von Brennerspitzen für zur Stromerzeugung genutzte Gasturbinen um 40 % zu reduzieren, indem sie die neue Spitze aufdruckt und nicht mehr, wie bisher, mithilfe eines Schweißverfahrens aufbaut. Dadurch können zusätzlich komplexere Geometrien hergestellt werden, wodurch die Effizienz der ganzen Turbine gesteigert werden konnte. Auch die Wartungszeiten konnten reduziert werden: von 44 Wochen auf vier. Das bedeutet eine Reduktion um 90 %.¹⁰² Es zeigt sich, dass im Zuge der Fertigung durch den 3D-Druck mehrfach profitiert werden kann. Zum einen sind komplexere Konstruktionen möglich, ohne dass ein Zusammenbau aus vielen Einzelteilen erfolgen muss. Dies senkt die Lagerkosten oder macht im Idealfall eine Lagerhaltung komplett überflüssig. Zum anderen bilden interne Stützkonstruktionen, wie sie die additive Fertigung ermöglicht, eine einfache Alternative für bisher massive Füllungen, die beim Gießen entstehen. Dadurch können Material und Gewicht eingespart werden, ohne dass die Stabilität des Objekt beeinflusst wird. Dennoch sind diese Beispiele derzeit noch Einzelfälle. Klein- und Kleinstserien, welche in der Regel auf einige wenige Bestandteile der gefertigten Produkte beschränkt sind. In der Massenfertigung ist 3D-Druck derzeit nicht rentabel, da er z. B. im Verhältnis zu vielen anderen Produktionsmethoden derzeit noch sehr langsam ist.

4.3 Logistik

Wie in Kapitel 1 dargelegt, rechneten die Befragten einer 2014 durchgeführten Studie damit, dass 3D-Druck am ehesten negative Auswirkungen auf die Logistik-Branche hat. Auch in wissenschaftlichen Arbeiten ist immer wieder zu lesen, dass die Logistik sich in Zukunft mit einem veränderten Markt konfrontiert sehen wird, wenn Unternehmen in Zukunft wieder mehr am eigenen Standort produzieren oder die Produktion ganz beim Kunden stattfindet.¹⁰³ Oft wird in diesem Zusammenhang auch von der disruptiven Wirkung des 3D-Drucks gesprochen¹⁰⁴, oder davon dass die Logistik „auf die mögliche zukünftige Situation strategisch reagieren [muss].“¹⁰⁵

Die bisher faktisch feststellbaren Auswirkungen sind allerdings überschaubar. Die Schweizerische Post hat ihr Produkt-Portfolio erweitert und verkauft 3D-gedruckte Schmuckanhänger und ganze 3D-Drucker auf ihrer Shop-Seite.¹⁰⁶ Der United Parcel Service (UPS) bietet in Amerika in vielen seiner Filialen die Möglichkeit, sich Objekte mit einem 3D-Drucker fertigen zu lassen.¹⁰⁷ Und der Verwaltungsratsvorsitzende der Kühne + Nagel International AG Karl Gernandt befürchtete am 28. September 2013 im Interview mit Birger Nicolai in der Zeitung

¹⁰⁰ vgl. Hagl, *Das 3D-Druck-Kompendium – Leitfaden für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber*, S. 46.

¹⁰¹ vgl. Kew, *Interior secrets of next-generation Mercedes S-Class*.

¹⁰² vgl. Klenk, „Von dieser Technik träumt jeder“, S. 34 f.

¹⁰³ Nicolai, *3-D-Drucker lehren die Logistiker das Fürchten*.

¹⁰⁴ vgl. Mohr und Khan, „3D Printing and Its Disruptive Impacts on Supply Chains of the Future“.

¹⁰⁵ Nevmyvako, *Der Einfluss von 3D-Druckern auf die Logistikindustrie*, S. 38.

¹⁰⁶ vgl. Post CH AG, *Vom 3D-Print-Angebot der Post profitieren und bei uns 3D-Print-Produkte kaufen*.

¹⁰⁷ vgl. The UPS Store, *3D Printing Services from The UPS Store*.

Die Welt: „Sollten sich 3D-Drucker so rasant weiterentwickeln wie in den vergangenen Jahren, werden meiner Meinung nach Massenartikel in Zukunft vor Ort aus dem Drucker und nicht mehr aus Fabriken in Asien kommen. Dann gäbe es für uns auf der heute wichtigsten Transportroute nach Fernost sicher weniger zu tun.“¹⁰⁸

Markus Kückelhaus, Bereichsleiter von Innovation and Trend Research bei DHL Customer Solutions & Innovation, hält dagegen, dass von DHL durchgeführte Studien zu dem Ergebnis kommen, dass die Volumenreduzierung durch immer kleiner werdende Elektronikgeräte mehr Einfluss auf die Logistik-Branche habe, als der 3D-Druck. Gegen 3D-Drucker in den Filialen, wie sie UPS in Amerika aufgestellt hat, hat sich DHL bewusst entschlossen. Als Grundlage für diese Entscheidung wurde ein Versuch im Innovationszentrum in Troisdorf durchgeführt, welches über einen 3D-Scanner und einen 3D-Drucker verfügt. Dort wurde Mitarbeitern angeboten, eigene Objekte vor Ort einscannen und ausdrucken zu lassen. Kückelhaus bezeichnet das Ergebnis als „desillusionierend“. Die meisten DHL-Mitarbeiter schienen die Grenzen des 3D-Drucks nicht zu kennen und kamen etwa mit Schmuck oder Sportschuhen. Von allen eingereichten Objekten konnten nur 30 % überhaupt reproduziert werden und nur 10 % mit der ursprünglichen Funktionalität. Nur ein einziger Mitarbeiter wäre zudem bereit gewesen, auch nur die Materialkosten zu bezahlen.¹⁰⁹

Es zeigt sich, dass die Auswirkungen des 3D-Drucks auf die Logistik-Branche, entgegen den Vermutungen mancher Marktteilnehmer oder Einzelpersonen, aktuell noch zu vernachlässigen sind. Die Menge an 3D-gedruckten Objekten ist im Verhältnis zu den Waren, die noch immer transportiert werden, unerheblich. Die Behauptungen, dass die ganze Logistik-Branche in wenigen Jahren nahezu obsolet sein wird, finden sich ausschließlich in Publikationen, die nicht direkt mit der Logistik assoziiert sind. Die Branche selbst scheint das Thema 3D-Druck ruhig anzugehen und im Moment eher zu erforschen, wie sie in Zukunft ebenfalls davon profitieren kann.

4.4 Alltägliches: Mode, Lebensmittel – und Häuser

In den letzten Jahren wird der 3D-Druck auch in Branchen genutzt, für die er auf den ersten Blick wenig bis gar nicht geeignet erscheint. So hat ihn z. B. die Modebranche für sich entdeckt. Besonders Modedesigner haben begonnen, neue Kreationen auf diesem Weg zu erschaffen. So hat bereits im Juli 2010 hat die Modeschöpferin Iris van Herpen 3D-Druck für einen Teil ihrer Kollektion genutzt.¹¹⁰

Im März 2013 präsentierte Francis Bitonti ein in Zusammenarbeit mit Michael Schmidt Studios und Shapeways erstelltes Kleid, das für die Trägerin maßgefertigt wurde. Dafür wurden 17 größere Nylon-Teile ausgedruckt, gefärbt, lackiert und zusammengesetzt, die insgesamt aus mehreren Tausend einzelner Komponenten bestehen und mit 13.000 Swarovski-Kristallen beklebt sind.¹¹¹ Durch fast 3.000 Gelenke wird der Trägerin freie Bewegung ermöglicht.¹¹²

Die Hersteller von Schuhen nutzen den 3D-Druck bereits für die Produktion von Sohlen und die Firma Adidas plant schon die Fertigung von kundenindividuellen Laufschuhen mit

¹⁰⁸ Nicolai, *3-D-Drucker lehren die Logistiker das Fürchten*.

¹⁰⁹ vgl. Kückelhaus, „Wir diskutieren mit den Kunden“, S. 38 f.

¹¹⁰ vgl. van Herpen, *Couture – Crystallization*.

¹¹¹ vgl. Scott, *Revealing Dita Von Teese in a Fully Articulated 3D Printed Gown*.

¹¹² vgl. Bitonti, *DITA'S GOWN*.

¹¹³ Willett, *This Is The Best 3D Food Printer We've Seen Yet – And It Makes Stunning Desserts*



Abbildung 4.1 Druckerzeugnis aus Zucker ¹¹³

3D-Druckern direkt im Ladengeschäft, basierend auf Scans der Füße der Kunden.¹¹⁴ Auf diese Weise erfasste und produzierte orthopädische Einlagen existieren bereits.¹¹⁵

Wie bereits mehrmals erwähnt, können auch Lebensmittel gedruckt werden. Als Druckmaterial wird dabei meist nur ein einzelner Werkstoff wie Zucker, Schokolade, Käse oder Teig genutzt. Abbildung 4.1 zeigt ein Druckerzeugnis aus Zucker, erzeugt mit dem ChefJet von 3D-Systems. An Druckern, die mehrere Lebensmittel gleichzeitig drucken können, wird bereits geforscht. So hat bereits 2013 die National Aeronautics and Space Administration (NASA) 125.000 US\$ (damals etwa 95.000 €) für eine Studie investiert, die erforschen sollte, inwieweit 3D-Lebensmittel-Druck für Weltraummissionen geeignet ist. Dabei lagen die Schwerpunkte darauf, dass zum einen die Zutaten möglichst lange haltbar sein (etwa auch für einen Flug zum Mars) und zum anderen der Aufwand für die Astronauten sowie der Abfall minimiert werden sollten.¹¹⁶ Das Ergebnis war ein Prototyp eines 3D-Pizza-Druckers, der Ketchup anstelle von Tomatensoße und Frischkäse statt Mozzarella verwendet. Weitere Rezepte sind geplant.¹¹⁷ Zusätzlich entstand die Idee eines Druckers, der aus Nährstoffen (Proteine, Zucker, etc.), die als Pulver vorliegen und mit Wasser und/oder Öl gemischt werden, eine fertige, auf die individuellen Bedürfnisse einer Person zugeschnittene Mahlzeit bereiten kann. Die Pulver sollten bis zu 30 Jahre haltbar sein.¹¹⁸

Ebenfalls im Bereich des 3D-Lebensmitteldrucks sollte der Markteintritt des Foodini von Natural Machines eigentlich in der ersten Hälfte des Jahres 2016 erfolgen, wurde jedoch auf unbestimmte Zeit verschoben. Dieser für sowohl Geschäfts- als auch Privatkunden gedachte Drucker soll dem Besitzer die monotonen Aufgaben bei der Essenszubereitung abnehmen,

¹¹⁴ vgl. adidas AG, *Maßgeschneidert aus dem 3D-Drucker: Erschaffe Deinen individuellen Laufschuh.*

¹¹⁵ vgl. 3D Orthotics, *3D Orthotics | 3D Printed Orthotics.*

¹¹⁶ vgl. National Aeronautics and Space Administration (NASA), *3D Printing: Food in Space.*

¹¹⁷ vgl. Staender, *Der Star-Trek-Replikator wird Wirklichkeit: Pizza auf dem Mars.*

¹¹⁸ vgl. Mims, *The audacious plan to end hunger with 3-D printed food.*

etwa die Herstellung von Ravioli, deren Fertigung aus zwei Schichten Teig und einer Schicht Füllung der Foodini übernehmen kann. Dazu müssen die Kapseln des Druckers vor dem Druck mit Füllung und Teig befüllt und die Ravioli danach gekocht werden.¹¹⁹

Barilla hat im Mai 2016 nach vier Jahren Forschung seinen Nudeldrucker vorgestellt. Die Besonderheit bei diesem ist, dass er vier relativ große, individuell geformte Nudeln innerhalb von nur zwei Minuten drucken kann.¹²⁰

Der sprichwörtliche Grundstein für 3D-gedruckte Häuser wurde bereits 2006 gelegt. In diesem Jahr entwickelte der Italiener Enrico Dini den D-Shape, der auf einer Fläche von sechs auf sechs Metern und einer maximalen Höhe von drei Metern mit einer Mischung aus Sand und Magnesiumoxid ein auf einem CAD-Modell basierendes Gebäude drucken kann (Contour Crafting). 2014 errichtete die chinesische Firma WinSun zehn Gebäude mit je einer Grundfläche von zehn auf 6,6 Metern, die aus gedruckten Fertigbauteilen zusammengesetzt worden sind. Dabei wurden die Wände aus einer Mischung aus Bauschutt und Zement gedruckt.¹²¹ 2015 folgte, ebenfalls von WinSun, eine Villa mit zehn Metern Breite, über sechs Meter Höhe und 40 Meter Länge. Auch diese wurde vor Ort aus Einzelteilen zusammengesetzt, die in unter 24 Stunden gedruckt worden waren. Die Kosten beliefen sich auf 161.000 US\$ (zum damaligen Zeitpunkt etwa 135.000 €). Da Fenster und Türen nicht gedruckt werden können, wurden, wie bisher im Hausbau üblich, entsprechende Öffnungen in den Mauern belassen, in welche diese Bauelemente später eingesetzt wurden. Der entstehende Abfall werde, laut WinSun, durch den Druck (verglichen mit dem bisher üblichen Hausbau aus Ziegeln und Stahlbeton) um 30 bis 60 % reduziert, die Bauzeit um 50 bis 70 % und die Kosten um 50 bis 80 %.¹²²

Der Vorteil gegenüber herkömmlichen Fertighäusern liegt daran, dass individuelle Grundrisse hier kein Hindernis in der Produktion darstellen.

4.5 Funktionierende Schusswaffen

Am 6. Mai 2013 stellte der Amerikaner Cody Wilson seine Baupläne für die erste funktionierende, druckbare Waffe (eine einschüssige 9 mm Pistole, Liberator genannt) zum Download im Internet bereit. Diese Nachricht verbreitete sich viral, besonders nachdem Tests ergeben hatten, dass der Liberator tatsächlich funktionstüchtig war. Bei diesen Tests wurde die Waffe laut c't Hacks vom 4. Oktober 2013 von Industrie-3D-Druckern gedruckt. Ein von ihnen mit einem 3D-Drucker für Privatanwender gedruckter Liberator lies sich nicht abfeuern, da sich einige Teile während des Abkühlens nach dem Druck leicht verzogen hatten. Ein auf diese Weise gedruckter Liberator könnte „deshalb höchstens durch Zufall funktionsfähig sein.“¹²³ Am 6. Mai wurden die Baupläne zum Download im Internet veröffentlicht und am 9. Mai von der US-Regierung gesperrt. Allein in den ersten zwei Tagen wurden die Dateien über 100.000 mal heruntergeladen.¹²⁴ Gegen diese bereits entstandenen Kopien konnte nichts unternommen werden. Dadurch sind die Druckvorlagen, zusammen mit einigen Plänen für andere Pistolen, bis heute auf einschlägigen Webseiten wie The Pirate Bay zu finden. Aller-

¹¹⁹ vgl. Natural Machines, *NATURAL MACHINES / FAQs*.

¹²⁰ vgl. Zarre, *Nudeln aus dem 3D-Drucker von Barilla*.

¹²¹ vgl. ARTE G.E.I.E., *Häuser aus dem 3D-Drucker*.

¹²² vgl. Kempkens, *Chinesische Ingenieure bauen Villa mit 3D-Drucker*.

¹²³ König, *Auf dem Schießstand: Die Pistole aus dem 3D-Drucker*.

¹²⁴ vgl. J. Gartner, *The Liberator: Erste funktionsfähige Waffe aus dem 3D-Drucker*.

dings ist der Liberator nicht die einzige Schusswaffe, die mit einem 3D-Drucker hergestellt worden ist. Auf YouTube finden sich Videos, in denen Personen selbstgedruckte Waffen auf Schießständen testen. Auch die erste halbautomatische Waffe ist bereits darunter.¹²⁵

Im Verhältnis zu industriell gefertigten Schusswaffen sind gedruckte Waffen aus Kunststoff relativ zerbrechlich und neigen dazu, schon nach wenigen Schüssen zu schmelzen oder zu blockieren. Dass sie jedoch durch Metalldetektoren nicht aufspürbar sind, war 2013 ein großes Thema in den Medien. Einzig die aus Metall bestehende Munition kann die Detektoren noch auslösen und zudem nicht gedruckt werden.

Nach Auskunft eines Offiziers der deutschen Bundeswehr verfügen im Moment weder Armeen noch Geheimdienste über komplett aus Kunststoff bestehende Schusswaffen, weswegen eine Bedrohung durch gedruckte Waffen aus nicht-metallischen Materialien wohl eher als gering einzuschätzen ist.

Der Vollständigkeit halber ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass auch bereits funktionsfähige Schusswaffen aus Metall gedruckt worden sind. Bereits im November 2013 gelang es der texanischen Firma Solid Concept einen funktionstüchtiger Colt M1911 zu drucken, welcher auf dem Schießstand erfolgreich über 1.000 Schuss abgegeben hat.¹²⁶

4.6 Medizinischer Bereich

Gerade im medizinischen Bereich treten die Stärken des 3D-Drucks hervor – Einzigartigkeit und individuelle Anpassung.¹²⁷ Dies ermöglicht es, Produkte spezifisch an den Körper jedes Patienten anzupassen.

Ein Beispiel hierfür sind Hörgeräte. Hier ermöglicht es eine Kombination aus 3D-Scan und 3D-Druck auf den individuellen Gehörgang des Kunden zugeschnittene Hörgeräte per CAD/CAM zu erzeugen. Dazu wird in einem ersten Schritt mit Silikon ein Abdruck des Gehörgangs genommen. Dieser wird von einem 3D-Laserscanner eingescannt und daraus ein digitales Modell des Gehörgangs erstellt. Am Computer ist es nun möglich die Schale, welche die Technik beinhaltet, für den individuellen Gehörgang passend zu modellieren und mit einem 3D-Drucker auszudrucken. Dadurch kann eine einheitlichere Qualität und bessere Passgenauigkeit der Produkte gewährleistet werden. Verlorene Geräte können schneller ersetzt werden, da die Daten gespeichert sind. Diese Vorteile haben dazu geführt, dass die gesamte Hörgeräte-Branche in weniger als zwei Jahren von Schalen, die von Hand gefertigt werden mussten, auf 3D-gedruckte umgestiegen ist.¹²⁸

Ein weiteres Beispiel sind die „magischen Arme“ eines im Jahr 2012 zweijährigen Mädchens namens Emma, das mit *Arthrogryposis multiplex congenita* geboren wurde, einer Krankheit, die zu steifen Gelenken und unterentwickelten Muskeln führt. In ihrem Fall waren die Arme betroffen, welche sie nach ärztlicher Aussage nie aus eigener Kraft würde heben können. Basierend auf einem metallenen Exoskelett für ältere Patienten konnte individuell für Emma eine leichte Variante aus Kunststoff gefertigt werden, das es ihr ermöglicht, beide Arme zu nutzen.¹²⁹

¹²⁵ vgl. Krämer, *Shuty MP-1: Die halbautomatische Schusswaffe aus dem 3D-Drucker*.

¹²⁶ vgl. Stratasy Direct, *World's First 3D Printed Metal Gun*.

¹²⁷ vgl. Warnier u. a., *Dinge drucken*, S. 35.

¹²⁸ vgl. Launer, „Bessere Qualität als früher“, S. 33.

¹²⁹ vgl. Stratasy, *3D-Druck eröffnet neue Wege für die Fertigung maßgeschneiderter medizinischer Geräte*.

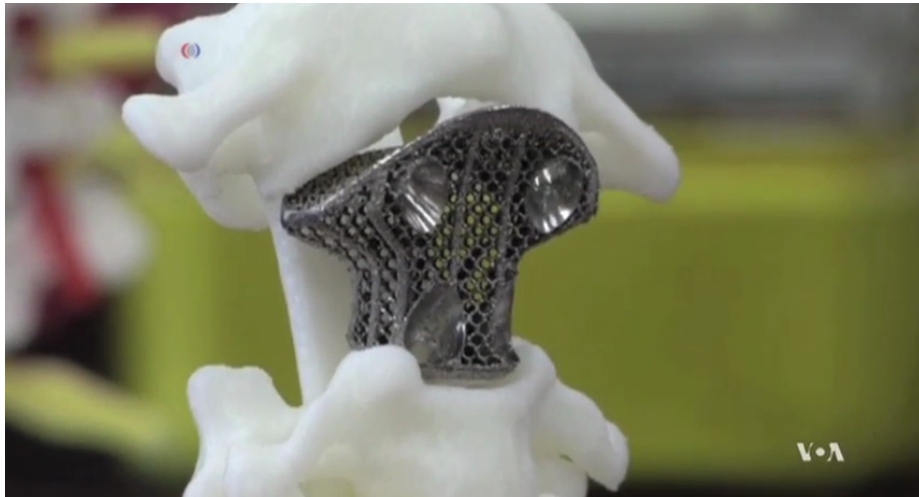


Abbildung 4.2 3D-gedrucktes Implantat mit horizontaler Achse¹³⁰

2015 verwendeten bereits 15 Kinder diese Kunststoff-Exoskelette aus dem 3D-Drucker.¹³¹

Metallische Knochenimplantate sind ein Anwendungsgebiet für 3D-Druck in der Medizin, an dem derzeit aktiv geforscht wird. Erste Implantationen im Bereich der Humanmedizin wurden aber dennoch bereits durchgeführt: 2014 wurde in China einem zwölfjährigen Jungen ein künstlicher Halswirbel eingesetzt, nachdem sein eigener im Zuge einer Tumoroperation entfernt werden musste. Computertomographie-Aufnahmen zeigten zuletzt Anzeichen dafür, dass die Knochen eine Verbindung mit dem Implantat (Osseointegration) eingegangen sind¹³², was einen positiven Verlauf der Operation und des Heilungsprozesses bedeutet. Abbildung 4.2 zeigt das 3D-gedruckte Implantat, welches weder Schrauben noch Zement zur Fixierung benötigt, da es perfekt an den umgebenden Knochen angepasst wurde¹³³.

Im Mai 2015 wurde in Deutschland im Städtisches Klinikum Karlsruhe einer Patientin mit degenerativen Problemen an der Halswirbelsäule ein Abstandshalter, ein sogenannter 'Cage', zwischen zwei Halswirbel eingesetzt. Dafür wurde ein Serienimplantat anatomisch auf die Patientin angepasst und ausgedruckt, wobei der Druck es ermöglicht, „die trabekuläre hochporöse Struktur des menschlichen Knochens nachzuahmen.“ Das Komplikationsrisiko kann durch die passgenaue Form des Implantats ebenfalls verringert werden. Nach Aussage des Klinikums ging es der Patientin nach der Operation „sehr gut“. Sie konnte nach wenigen Tagen entlassen werden.¹³⁴

Auch in vielen anderen Fällen konnten 3D-Drucke Patienten helfen. Dabei reicht das Spektrum von Knieprothesen¹³⁵ bis hin zu mitwachsenden Luftröhren.¹³⁶

¹³⁰ VOA News, *Chinese Doctors Use 3-D Spinal Implant*, 00:33

¹³¹ vgl. Quitter, *Emmas magische Arme: Kleine Belohnungen*.

¹³² vgl. Xu u. a., *Reconstruction of the Upper Cervical Spine Using a Personalized 3D-Printed Vertebral Body in an Adolescent With Ewing Sarcoma*.

¹³³ vgl. Edmondston, *3D-Drucker – Modelle für jeden Lebensbereich*, S. 13.

¹³⁴ vgl. Städtisches Klinikum Karlsruhe gGmbH, *Erste Halswirbelsäulenoperation mit 3D gedrucktem patientenspezifischen Titanimplantat*.

¹³⁵ vgl. Paracelsus-Kliniken Deutschland GmbH & Co. KGaA, *Neue Knieprothesen aus dem 3D-Drucker in der Paracelsus-Klinik Henstedt-Ulzburg*.

¹³⁶ vgl. Deutsches Ärzteblatt, *Tracheobronchomalazie: Implantat aus dem 3D-Drucker wächst mit*.

5 Zukunftsaussichten des 3D-Drucks

5.1 Die Entwicklung im privaten Bereich

Basierend auf der bisherigen Entwicklung ist davon auszugehen, dass 3D-Drucker für Privatanwender in den nächsten Jahren noch billiger und vielseitiger werden. Auch mit einer Verbesserung des Druckbildes und der Entwicklung weiterer lebensmittelechter Druckmaterialien neben Polypropylen (PP) ist zu rechnen. Dabei bleibt die Frage, was alles gedruckt werden wird. Auf jeden Fall ist davon auszugehen, dass Dekoartikel, kleine, einfache Ersatzteile und Modellbauteile (etwa Figuren für Modelleisenbahnen) weiterhin stark im Trend liegen werden. Die Staatsanwältin Dr. Angelika Moser kommt in ihrer Dissertation zu dem Schluss, dass es für Privatpersonen erlaubt ist, auch urheberrechtlich geschützte Werke für den persönlichen Gebrauch zu drucken. Dabei sei es irrelevant, ob das Modell aus einem Computerspiel extrahiert, über eine Produktmodell-Plattform erworben oder per 3D-Scan oder Fotogrammetrie erstellt wird. Es ist auch nicht relevant, ob die Person das Objekt in einem privaten 3D-Drucker druckt oder sich eines fremden Fabrikators wie einem FabLab bedient.¹³⁷ Wie bei anderen digitalen Objekten ist die Weitergabe von Modellen verboten, die urheberrechtlich geschützten Werken nachempfunden sind.¹³⁸ Es ist davon auszugehen, dass Fans von Videospiele vermehrt beginnen werden, die Daten aus ihren Spielen zu extrahieren, um sich ihre Lieblingscharaktere z. B. als Dekoration für den privaten Gebrauch auszudrucken. Im diesem Zusammenhang werden auch Webseiten wie Thingiverse.com und shapeways.com weiter an Popularität gewinnen. Thingiverse erlaubt es Nutzern, eigene 3D-Modell-Daten anderen Nutzern gratis zum Download zur Verfügung zu stellen, während Shapeways als Geschäftsmodell 3D-Drucke aus verschiedensten Materialien vornimmt und die fertigen Objekte dem Kunden übersendet.

Ob – und wenn ja, wie sehr – sich Lebensmittel-3D-Drucker durchsetzen werden, ist im Moment noch nicht absehbar. Sie könnten eines Tages in der gewerblichen Lebensmittelzubereitung eingesetzt werden, um etwa eine größere, vielleicht sogar individualisierte, Formenvielfalt z. B. bei Keksen zu ermöglichen. In der privaten Küche werden sie aber mit Sicherheit in den nächsten Jahren noch nicht – ähnlich dem Star Trek Replikator – die komplette Zubereitung übernehmen. Dazu müsste der Drucker entsprechend groß sein, um eine Vielzahl an Grundzutaten gleichzeitig lagern und verarbeiten zu können. Es ist eher davon auszugehen, dass Lebensmittel-3D-Drucker ein Blickfang auf Feiern und Events sein werden, mit dem die Veranstalter ihre Gäste beeindrucken wollen.

Im Moment ist 3D-Druck im privaten Bereich ein gewisser Hype. Er ist neu und modern und findet bei den Medien viel Beachtung. Fachautorin und Geschäftsführerin Petra FASTERMANN geht davon aus, dass dieser Hype wieder abnehmen wird und 2018 80 % der Anfragen für 3D-Drucke bei ihrer Firma FASTERPOLY aus der Industrie kommen werden. Für private Nutzer vermutet sie in Zukunft spezialisierte 3D-Copyshops.¹³⁹

¹³⁷ vgl. Moser, *Personal Manufacturing und Urheberrecht – »3D Druck« im privaten Umfeld*, S. 311 ff.

¹³⁸ vgl. ebd., S. 319.

¹³⁹ vgl. FASTERMANN, „Nicht für den Hausgebrauch“, S. 38.

5.2 Auswirkungen auf Fertigung und Logistik

Obwohl die Fertigungsindustrie in vielen Bereichen bereits von 3D-Druckern profitiert, sind zur Zeit noch eindeutige Grenzen erkennbar. So berichten Medien zwar gerne von 3D-gedruckten Autos, allerdings wurde bisher noch kein einziges wirklich komplett gedruckt. Bestandteile wie Reifen, Motor und Verkabelung müssen noch immer auf herkömmliche Art und Weise hergestellt werden. Das bedeutet jedoch nicht, dass 3D-Druck irrelevant für die Branche ist. „Wer jetzt nicht mitmacht, ist in ein paar Jahren raus“ warnt Jürgen Sandler, Experte für Additive Manufacturing bei Airbus.¹⁴⁰ Der 3D-Drucker-Hersteller EOS erwartet den nächsten Entwicklungssprung durch neue Werkstoffe.¹⁴¹

Kückelhaus hingegen vermutet, dass sich 3D-Druck nur für bestimmte Branchen und Produkte lohnen wird. Diese Produkte müssen hochwertig sein, einen hohen Individualisierungsgrad aufweisen und in kleinen Losgrößen gefertigt werden. Für günstige Massenprodukte sieht er keine Veränderungen in der Produktion voraus.¹⁴² Der Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW) kommt in einer Studie vom Februar 2016 zu dem Schluss, dass in den nächsten fünf bis sieben Jahren unter 1 % der bestehenden Fertigungstechnologien durch additive Verfahren ersetzt werden. „Das dürfte [...] kaum zu einer radikalen Veränderung der Branche führen.“¹⁴³ Dieser Prognose ist allein deshalb zuzustimmen, weil entsprechende Produktionen erst aufgebaut und passende 3D-Daten erstellt werden müssten. Ferner werden bereits bestehende Fertigungseinrichtungen nicht allein deshalb geschlossen, weil neue Technologien möglich sind, sondern nur, wenn sie aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht mehr rentabel sind oder das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben.

Hans Langer, CEO und Gründer von EOS, sieht an dieser Stelle neue Möglichkeiten für „unterentwickelte Länder“, welche keine Werkzeuge oder Fabriken mehr benötigen würden. Sie könnten ihre Daten über das Internet vertreiben und das Drucken dem Kunden überlassen.¹⁴⁴

Es ist jedoch zu beachten, dass nicht nur die Produktion, sondern die gesamte Wertschöpfungskette von den Auswirkungen des 3D-Drucks betroffen sein wird. Ulrich Petschow u. a. kommen in *Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit* zu dem Ergebnis, dass diese sich insgesamt stark dezentralisieren wird. Wie sich diese Dezentralisierung auswirken wird, hängt jedoch vom jeweiligen Produkt ab. Für Produkte, die sich an private Endverbraucher richten, sehen sie u. a. eine Verschiebung des Kundenkopplungspunktes in Richtung Endkunde, einen Bedeutungsgewinn der Kapazitätsauslastung der Transportkette und ein Absinken der durchschnittlichen Anzahl an Rücktransporten voraus. Bei der Wertschöpfungskette für Industrieprodukte erwarten sie hingegen eine Abnahme der logistischen Knoten bei gleichbleibender Anzahl von Wertschöpfungsstufen, direktere Transportorganisation und geringere Transportentfernung sowie ebenfalls einen Bedeutungsgewinn der Kapazitätsauslastung und eine sinkende Anzahl an Rücktransporten.¹⁴⁵

¹⁴⁰ vgl. Handelsblatt GmbH, *Additive Fertigung: 3D-Druck erreicht den Maschinenbau*.

¹⁴¹ vgl. Langer, „Kein Plug and Play“, S. 37.

¹⁴² vgl. Kückelhaus, „Wir diskutieren mit den Kunden“, S. 38 f.

¹⁴³ Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW), *Revolution in der Metallbearbeitung durch Additive Manufacturing bleibt vorerst aus – VDW-Studie zu Chancen und Risiken von AM gibt Entwarnung – nur ein Prozent Substitution bestehender Verfahren*.

¹⁴⁴ vgl. Langer, „Kein Plug and Play“, S. 35.

¹⁴⁵ vgl. Petschow u. a., *Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit*, S. 49 f.

Daher sind die genauen Auswirkungen auf die Logistik-Branche, wie auch Nikolaj Nevmyvako in *Der Einfluss von 3D-Druckern auf die Logistikindustrie* feststellt, im Moment noch nicht endgültig vorherzusagen. Keinesfalls ist davon auszugehen, dass 3D-Druck das Ende der Logistik-Branche bedeutet, selbst wenn dieser in Zukunft, entgegen aller Wahrscheinlichkeiten, alle anderen Produktionsverfahren verdrängt haben sollte und der Kunde sich seine Produkte selber druckt. In diesem Fall muss noch immer das Druckmaterial transportiert werden, das sowohl im industriellen wie im privaten Bereich benötigt wird, um drucken zu können.¹⁴⁶ Auch das Rohmaterial, welches zu Druckmaterial verarbeitet werden soll, muss produziert und an die Verarbeitungsplätze angeliefert werden. Zusätzlich werden größere und/oder komplexere Produkte, wie etwa Fernseher oder Einrichtungsgegenstände, nie von privaten Endanwendern gedruckt werden, da die dafür benötigten Geräte zu viel Platz einnehmen würden. Letztlich wird die Entwicklung in der Logistik stark von der Weiterentwicklung in der Fertigung abhängen.

5.3 Lebensmittel-Druck

Wie schon in Kapitel 5.1 angesprochen, ist nicht davon auszugehen, dass jede private Küche in den nächsten Jahren über einen Lebensmittel-Drucker verfügen wird. Überhaupt ist die Zukunft des Lebensmittel-Drucks schwer vorherzusagen, da es im Moment noch an praktischen Ergebnissen und Erfahrungen mangelt. Die Geräte, die es in diesem Bereich bereits auf dem Markt gibt, sind soweit bekannt ausschließlich für einzelne Zutaten, wie Schokolade oder Zucker und bieten damit keine Basis für eine ausgewogene Ernährung. Um das Lebensmittel-



Abbildung 5.1 3D-gedruckter Oktopus aus Kartoffelbrei¹⁴⁷

¹⁴⁶ vgl. Nevmyvako, *Der Einfluss von 3D-Druckern auf die Logistikindustrie*, S. 38.

¹⁴⁷ Print2Taste GmbH, *Druckbare Lebensmittel*

Drucker-Projekt der NASA ist es ruhig geworden, nachdem die erste in Auftrag gegebene Studie mit einem halben Jahr Verzögerung als Ergebnis nur einfache Pizza geliefert hat. Der Markteinführungstermin des in Kapitel 4.4 vorgestellten Foodinis wurde auf ungewisse Zeit verschoben, was dafür spricht, dass bei der Entwicklung noch nicht alle Probleme gelöst sind.

Basierend auf den existierenden Geräten ist davon auszugehen, dass sich der Einsatz in den kommenden Jahren hauptsächlich auf den Süßwarenereich beschränken wird. Hier könnten von professionellen Anbietern z. B. aufwendige Dekorationen aus Zucker (vgl. Abbildung 4.1, Seite 19), nach Kundenwunsch individualisierte Gummibärchen für Kindergeburtstage oder Scans des Brautpaares als Basis für Tortendekoration aus Marzipan genutzt werden. In der Regel sind die aktuellen Lebensmittel-Drucker noch zu langsam. Ob ein Gast im Restaurant bereit ist, darauf zu warten, dass der Drucker seine Nudeln ausdrückt oder überhaupt Interesse an individuellen Nudeln hat, bleibt abzuwarten. Wer jedoch hungrig von der Arbeit nach Hause kommt wird den Kartoffelbrei lieber gleich essen, als darauf zu warten, dass der 3D-Drucker ihn in eine bestimmte Form gedruckt hat, wie Abbildung 5.1 eine am Beispiel eines Oktopusses zeigt.

Es konnte keine Antwort auf die Frage gefunden werden, welchen Mehrwert Lebensmittel-Druck im Alltag haben soll, wenn die Anforderungen über beeindruckende Optik hinausgehen.

5.4 Einsatz im Militär

Die U.S. Navy plant, 3D-Drucker auf ihren Schiffen einzusetzen. Benötigte Teile (wie etwa Ersatzteile), die nicht mitgeführt werden, können bei Bedarf direkt an Bord designt und produziert werden. Auf diese Weise könnten die Menge an mitgeführten Ersatzteilen drastisch reduziert und dadurch Kosten eingespart werden.¹⁴⁸

Wenn es in Zukunft möglich sein sollte, verlässlich mehrere Materialien mit einem 3D-Drucker gleichzeitig zu drucken, sieht Larry Holmes, Projektleiter für Material- und Technologieentwicklung im Bereich der additiven Fertigung des US Army Research Laboratory (ARL), Potenzial für Abhörausrüstung. Als Beispiel dafür nennt er Sensoren, die in den Verschluss einer Milchkarton gedruckt werden könnten.¹⁴⁹

Die Bundeswehr sieht Anwendungsmöglichkeiten in der Anpassung der Ausrüstung an den einzelnen Soldaten. So könnten in Zukunft etwa individuell zugeschnittene Schutzmasken, kopfgenaue Helmeinsätze oder ein passgenauer Hörschutz möglich sein. Die „Produktion von Waffen, Waffenteilen oder anderem Kriegsgerät in größeren Maßstäben [...] wird auch für die Zukunft nicht erwartet.“¹⁵⁰ Dr. Annika Vergin u. a. schließen ihre Studie zum Thema 3D-Druck damit, dass es sich bei 3D-Druck-Methoden um „ethisch vertretbare Technologien“ handelt und ihre Verwendung „derzeit keine direkten militärisch sicherheitspolitisch relevanten Auswirkungen erwarten [lassen].“ Ein hoher Nutzen wird jedoch in den Bereichen Ausrüstung und Logistik vorhergesagt.¹⁵¹

¹⁴⁸ vgl. Stinson, *Dam Neck Explores Future of 3D Printing for Navy*.

¹⁴⁹ vgl. Tucker, *Talking Helmets and Robot Builders: The Army's Future of 3D Printing*.

¹⁵⁰ Vergin u. a., *Future Topic: Potenziale additiver Fertigungsverfahren*, S. 10.

¹⁵¹ Ebd., S. 11.

5.5 Bioprinting

Beim Bioprinting, dem Drucken von lebenden Zellen, existieren zwei unterschiedliche Anwendungsrichtungen. Die eine hat zum Ziel, Fleisch und Gewebe aus lebenden Zellen zu drucken, welches als Lebensmittel oder als Grundlage für Lederprodukte dienen kann. Der andere, durch die Medien bekanntere Bereich, ist das Drucken von künstlichen Geweben und Organen, die im medizinischen Bereich eingesetzt werden sollen. Beide profitieren davon, dass es möglich ist, Zellen in einem dreidimensionalen Gerüst anzuordnen und dabei auch interne Strukturen zu formen. Während die Forschung im Bereich des Bioprintings schon sehr weit ist, steht die praktische Umsetzung jedoch noch am Anfang.¹⁵²

Das Druckmaterial, das sowohl für Fleisch als auch Gewebe und Organe genutzt wird, ist sogenannte Biotinte (Bioink¹⁵³). Diese beinhaltet lebende Zellen in einer Hydrogel-Lösung. Dabei ist es notwendig, dass die Zellen in diesem Medium überlebensfähig sind. Außerdem darf die Tinte weder zu flüssig noch zu fest sein. Ist sie zu flüssig, verläuft die gedruckte Form, bevor sie trocknen kann. Ist die Tinte hingegen zu fest, besteht die Gefahr, dass die Druckerdüse verstopft. Auch Scherkräfte oder hohe Temperaturen, die bei verschiedenen Druckverfahren auftreten können, haben negative Einflüsse auf die Überlebensfähigkeit der Zellen und somit das Druckergebnis. Je nach Drucktechnik überleben derzeit 40 bis 90 % der Zellen den Druck.¹⁵⁴ Gedruckt wird entweder auf sogenanntes 'Biopapier' oder vorbereitete Gerüststrukturen. Bei Biopapier handelt es sich um eine einfache, flache Unterlage, auf welcher die Zellen lebensfähig sind, etwa ein Hydrogel-Substrat oder einer mit Nährsubstanz gefüllten Petrischale.¹⁵⁵ Die Alternative sind dreidimensionale Gerüste, auf welche Zellen direkt 'in Form' gedruckt werden können. Diese werden aus biologisch abbaubarem Kunststoff gefertigt.¹⁵⁶

Die Idee, essbares Fleisch nach Bedarf zu erschaffen und somit nicht mehr auf die Zucht von Tieren angewiesen zu sein, ist nicht neu. Bereits im Dezember 1931 prophezeite Winston Churchill im Strand Magazine: „We shall escape the absurdity of growing a whole chicken in order to eat the breast or wing, by growing these parts separately under a suitable medium.“¹⁵⁷ So einfach ist der Druck von lebensmitteltauglichem Fleisch jedoch nicht. Es gibt nicht „das Fleisch“, sondern viele verschiedene Arten, die sich je nach Art und Alter des Trägartiers, dessen Lebensumständen und der Position des Fleisches in dessen Körper unterscheiden. Aus diesem Grund schmeckt Schweinekotelett anders als Steak. Wichtig ist vor allem der interne Aufbau: Der Anteil an Muskelfleisch, Bindegewebe, Sehnen und/oder Fett.¹⁵⁸ Somit ist es notwendig, verschiedene Zelltypen an die richtige Position zu bringen, was durch Drucken geschehen kann. Zusätzlich muss der gesamten Masse danach Zeit gegeben werden, in einem Bioreaktor zu reifen. Modern Meadow, ein amerikanisches Unternehmen aus dem Bereich des Fleisch-Drucks, plant, eines Tages gedrucktes Fleisch auf den Markt zu bringen. Als Ergebnis einer ersten Studie geben sie an, dass ihr so entstehendes Fleisch noch über keine Aderbildung verfügt, welche jedoch für den späteren Geschmack

¹⁵² vgl. Starly und Shirwaiker, „Bioprinting Techniques“, S. 74.

¹⁵³ vgl. Lipson und Kurman, *Fabricated: The New World of 3D Printing*, S. 106.

¹⁵⁴ vgl. Mehrban, Teoh und Birchall, „3D bioprinting for tissue engineering: Stem cells in hydrogels“, S. 9 f.

¹⁵⁵ vgl. Starly und Shirwaiker, „Bioprinting Techniques“, S. 61.

¹⁵⁶ vgl. Pluta, *Bioprinting: Forscher drucken implantierbares Gewebe*.

¹⁵⁷ Churchill, *Fifty Years Hence*.

¹⁵⁸ vgl. Lebensmittellexikon, *Fleisch, Schlachtfleisch*.

sehr wichtig ist.¹⁵⁹ Inwieweit bei dieser Produktionstechnik wirklich 3D-Druck verwendet wird, ist nicht bekannt. Einige Aussagen der Firma widersprechen sich in dieser Hinsicht. Zusätzlich wirbt Modern Meadow damit, ethisches Fleisch zu schaffen, das nicht getötet werden muss und somit z. B. auch für Vegetarier geeignet ist. Gleichzeitig verwenden sie, um die Zellen zum Wachstum anzuregen, fetales Kälberserum. Dieses wird zur Zeit aus Blut gewonnen, das mit einer Spritze aus dem Herz eines ungeborenen, lebenden und unbetäubtem Kalbes entnommen wird, nachdem das schwangere Muttertier geschlachtet worden ist.¹⁶⁰ Somit ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht davon auszugehen, dass sich auf diese Weise gedrucktes Fleisch durchsetzen wird.

Grundsätzlich erscheint die Idee, die Fleischproduktion unabhängig von Tierhaltung zu gestalten, sehr gut. Sowohl Platzbedarf als auch CO₂-Ausstoß könnten gesenkt werden. Eine Herausforderung ist der Preis. So kostete etwa ein 2012 von Prof. Mark Post in den Niederlanden aus Stammzellen gezüchteter Hamburger-Bratling 250.000 €. Dieser bestand nur aus einer einzigen Zellenart: Muskelzellen.¹⁶¹ Aktuell ist es noch nicht möglich, die interne Komplexität von Fleisch korrekt nachzubauen, um die Zellen über ein Adersystem zu versorgen. Entsprechend fehlen noch die biochemischen Reaktionen, die für Farbe, Geschmack und Nährstoffgehalt sorgen.¹⁶²

Mehr Beachtung schenken die Medien der Technologie des Bioprintings im Bereich der künstlichen Gewebezüchtung (Tissue Engineering). Ziel dabei ist es, funktionsfähige Organe aus lebenden Zellen zu drucken und somit nicht mehr auf knappe Spenderorgane angewiesen zu sein.¹⁶³ Zellen zu drucken hat mehrere Vorteile. So können, zumindest in der Theorie, die komplexen Formen von Organen direkt durch den Druck mithilfe von Stützkonstruktionen aus biologischem Material erstellt werden, während gleichzeitig benötigte biochemische Moleküle (etwa Wachstumshormone) beigegeben werden. Somit entsteht die Möglichkeit, die natürliche Gewebestruktur zu imitieren oder spezielle 3D-Mikro-Umgebungen zu schaffen.¹⁶⁴

Aktuell ist die Wissenschaft jedoch noch weit von funktionstüchtigen Organen entfernt. Die 3D-gedruckte Niere, die 2011 für Aufregung sorgte, war nur ein Hydrogel-Gebilde in Form einer Niere. Die innere Struktur, die für die Funktionalität unerlässlich ist, fehlte.¹⁶⁵ Auch gibt es zur Zeit keine Möglichkeit, die Zellen innerhalb des Organs mit Nährstoffen und Sauerstoff zu versorgen, während diese reifen. Jedoch konnten von Wissenschaftlern des Fraunhofer-Instituts bereits 2011 erfolgreich künstliche Blutgefäße gedruckt werden, die eines Tages für die Versorgung der Zellen mit Nährstoffen genutzt werden könnten. Um eine Interaktion mit natürlichem Gewebe zu ermöglichen, wurden diese künstlichen Adern „nachträglich biofunktionalisiert, so dass lebende Körperzellen an ihnen andocken können.“¹⁶⁶

¹⁵⁹ vgl. Modern Meadow, *Engineered Comestible Meat – Modern Meadow*.

¹⁶⁰ vgl. Dilawar, *Is company's claim of meat without murder too good to be true?*

¹⁶¹ vgl. *First-ever public tasting of lab-grown Cultured Beef burger – Frequently Asked Questions*.

¹⁶² vgl. Scheuerer, *Repliziertes Fleisch und der 3D-Drucker als Metzger von morgen*.

¹⁶³ vgl. Chua und Yeong, *Bioprinting*, S. 1 f.

¹⁶⁴ vgl. Lee u. a., „3D Bioprinting and 3D Imaging for Stem Cell Engineering“, S. 33 f.

¹⁶⁵ vgl. Koll, *Bioprinting: Chancen, Grenzen und Herausforderungen beim gezielten Drucken von Zellen*.

¹⁶⁶ Tovar, *Blutgefäße aus dem Drucker*.

2016 konnten im Tierversuch 3D-gedruckte Knochen und Knorpel erfolgreich getestet werden.¹⁶⁷

Wie leicht erkennbar ist, hat der 3D-Druck von Organen großes Zukunftspotenzial. Die Wartezeiten könnten, im Vergleich zu Wartezeiten bei Spenderorganen, sehr verkürzt werden. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass das Abstoßungsrisiko vollkommen eliminiert werden kann, da die Organe aus den körpereigenen Zellen des Patienten geschaffen würden. Jedoch ist es zur Zeit noch nicht möglich, mehr als einfache Haut zu drucken. Die Herausforderung bei komplexeren Gewebeformen ist vor allem die Nachbildung der chemischen, mechanischen und morphologischen Eigenschaften der *in vivo*-Umgebung, also der Eigenschaften in lebenden Organismen.¹⁶⁸ Zusätzlich müssen alle Zellen mit Nährstoffen versorgt werden, was ein stark verzweigtes Adernetz voraussetzt. Die Lebensfähigkeit der Zellen nimmt mit jedem Millimeter ab, den sie von den Adern entfernt sind. Bei 7 mm leben nur noch etwa 5 % der Zellen.¹⁶⁹

Wie lange es dauern wird, bis funktionstüchtige Organe gedruckt werden können, ist heute noch nicht abzusehen. Die meisten Quellen nennen überhaupt keinen Zeitraum, der Rest spricht von vielen Jahren. Auch bleibt die Frage, ob ein solches Organ endgültig im Körper verbleiben kann oder nur eine Übergangslösung darstellt, während der Empfänger weiter auf ein Spenderorgan wartet.¹⁷⁰ Am ehesten ist mit Geweben wie Haut oder Knorpel zu rechnen, da sie im Aufbau relativ einfach sind. Erste Erfolge konnten hier in Tierversuchen bereits erzielt werden.¹⁷¹ Organe hingegen sind ein komplexes Zusammenspiel aus verschiedenen Zelltypen, die durch Adern versorgt und von Nerven gesteuert werden.

¹⁶⁷ vgl. Boggs, *3D 'bioprinter' produces bone, muscle, and cartilage*.

¹⁶⁸ vgl. Mehrban, Teoh und Birchall, „3D bioprinting for tissue engineering: Stem cells in hydrogels“, S. 8.

¹⁶⁹ vgl. Kolesky u. a., „Three-dimensional bioprinting of thick vascularized tissues“, S. 3.

¹⁷⁰ vgl. Melchels u. a., „Additive manufacturing of tissues and organs“, S. 1100.

¹⁷¹ vgl. Deutsches Ärzteblatt, *3D-Printer druckt lebende Ohren, Muskeln und Knochen*.

6 Fazit

Aussagen wie „3-D-Druck leitet dritte industrielle Revolution ein“¹⁷² oder „3D-Druck wird alle Industriezweige umkremeln“¹⁷³ finden sich in vielen Publikationen, sowohl online als auch gedruckt. Es gibt zahlreiche Stimmen, die davon ausgehen, dass der 3D-Druck das Potenzial hat, die weltweite Wirtschaft nachhaltig zu verändern und zu revolutionieren. Sie prophezeien, dass die Globalisierung zurückgehen und die Produktion wieder regional im eigenen Land, eventuell sogar direkt beim Endkunden, stattfinden wird.

Mit hoher Wahrscheinlichkeit existieren hier übertriebene Erwartungen, die von dem momentanen 3D-Druck-Hype noch beflügelt werden, denn es wird völlig missachtet, dass ein Großteil aller Produkte einen komplexen Aufbau aus verschiedensten Materialien aufweist. So konnte bis heute nicht dargelegt werden, wie z. B. Rasierapparate, Telefone oder Motoren als Ganzes gedruckt werden sollen. Die Positionierung der meisten Punkte im Hype-Zyklus durch Gartner vor dem *Gipfel der überzogenen Erwartungen* (vgl. Abbildung 2.2, Seite 5) verleiht dieser These weitere Glaubwürdigkeit.

Zusätzlich wird der Begriff des 3D-Drucks zum aktuellen Zeitpunkt sehr inflationär verwendet. Immer wieder fanden sich während der Recherche Berichte, die etwa das Herausschneiden eines Objektes aus einem Block mit einer CNC-Fräse oder das Aufsprühen einer einzelnen Schicht auf ein dreidimensionales Grundmodell als 3D-Druck bezeichneten.

Unstreitig wird sich der 3D-Druck rasant weiterentwickeln. Um als privater Endverbraucher mehr als nur einfache alltagstaugliche Gegenstände herzustellen, bedürfte es der Weiterentwicklung der vorhandenen Drucker auf ein Niveau, das über dem der derzeitigen Industriegeräte liegt, ohne dabei die Preisvorstellungen der privaten Nutzer zu übersteigen. Sofern sich der 3D-Druck für die private Bedarfsdeckung, etwa mit Ersatzteilen und Gebrauchsgütern, überhaupt durchsetzen wird, ist basierend auf dem momentanen Stand der Technik dennoch nicht davon auszugehen, dass in einigen Jahren jeder einen 3D-Drucker zuhause stehen haben wird, mit dem er bei Bedarf benötigte Teile herstellen wird. Es erscheint wahrscheinlicher, dass sich 3D-Druck-Center etablieren werden, welche über unterschiedliche, hochwertige Drucker für verschiedenste Verfahren und Materialien verfügen und bei Bedarf auch bei der Erstellung und/oder Bearbeitung der Druck-Dateien unterstützend tätig sein können. Allerdings steht in diesem Zusammenhang die Klärung der Produkthaftungsproblematik noch aus. Laut Anwalt Dr. Andreas Leupold und Richterin Silke Glossner ist hier eine Präzisierung des Herstellerbegriffs im Produktsicherheitsgesetz nötig.¹⁷⁴

Für den Konsumenten ändert sich nichts. Es ist mit Ausnahme einer im Normalfall nicht zwingend notwendigen Individualisierung unerheblich, ob eine Ware bei einem Fachhändler oder einem Druck-Center gekauft wird. Bei einem Geschäft vor Ort kann die Ware selbst abgeholt werden, Versandhändler (traditionelle wie 3D-druckende) hingegen würden sich eines Dienstleisters bedienen, um die Ware zum Käufer zu bringen.

¹⁷² Michler, *3-D-Druck leitet dritte industrielle Revolution ein*.

¹⁷³ Domscheit-Berg, *Deutsche Industrie verschläft 3-D-Druck*.

¹⁷⁴ vgl. Leupold und Glossner, *3D Druck, Additive Fertigung und Rapid Manufacturing*, S. 178 f.

Der direkte Einfluss von 3D-Druck auf das private Leben wird also gering bleiben, wenn das eigene Hobby nicht gerade in den Bereich des Modellbaus fällt oder Bedarf an einer medizinischen Prothese besteht.

Auch im industriellen Bereich wird er nicht die komplette Fertigung übernehmen. Autodesk-Präsident und CEO Carl Bass schrieb in diesem Zusammenhang in einem Artikel des Wired-Magazins:

„[J]ust as the microwave didn't replace all other forms of cooking as initially predicted, 3-D printing will not replace other manufacturing technologies let alone industrial-scale ones for a variety of reasons. It will complement them.“¹⁷⁵

Dieser Aussage kann ohne Vorbehalt zugestimmt werden. Der 3D-Druck ist ein relativ neues Produktionsverfahren, welches die bisherigen ergänzt, nicht jedoch ersetzt. Dabei ist immer zu beachten, dass es nicht „den“ 3D-Druck gibt, sondern eine Reihe von Verfahren, mit verschiedenen Stärken und Schwächen, die sich jeweils für unterschiedliche Aufgabenstellungen eignen. Deshalb kann auch kein einzelnes Verfahren speziell einer Branche oder einer Produktgruppe zugeordnet werden.

Die Logistik-Industrie wird nicht damit rechnen müssen, bald obsolet zu sein, da es auch in Zukunft zwingend notwendig ist, die benötigten Materialien zum Druckort und gegebenenfalls die fertigen Produkte zum Endkunden zu transportieren. Auch gibt es weiterhin viele Güter, für die herkömmliche Produktionsmethoden schneller und billiger sind und die ebenfalls ihren Weg zum Verbraucher finden müssen. Erst wenn der Transport auch kleiner Teile langwierig, schwierig und/oder teuer wird, lohnt sich die Herstellung von einfachen Gegenständen im Druckverfahren, beispielsweise ein beliebiges Ersatzteil für ein Schiff auf hoher See oder eine Ratsche für die Internationale Raumstation (ISS).

Ohne Zweifel wird diese Technologie künftig enormen Einfluss auf die Herstellung von speziellen Werkzeugen und Bauteilen sowie die Medizintechnik haben. Im Bereich der individualisierten Massenfertigung, wenn viele ähnliche, aber doch leicht unterschiedliche Objekte (etwa Hörgeräte oder künstliche Gelenke) gefertigt werden müssen, ist der 3D-Druck in den meisten Fällen das ideale Produktionsverfahren, da die jeweilige Veränderung der Grundform einfach am Computer vorgenommen werden kann. Bei der Herstellung von Prototypen, Werkzeugen sowie Teil- und Fertigfabrikaten in (individualisierten) Klein- und Kleinstserien, wenn ein Objekt unter Einsparung von Zeit und Montagekosten gedruckt werden kann, ist er eine sich lohnende Alternative. In diesen Bereichen kann davon ausgegangen werden, dass der 3D-Druck in den nächsten Jahren stark zunehmen wird, nicht aber in der Massenfertigung. Entsprechend kann den Zitaten zu Beginn dieses Kapitels nicht zugestimmt werden. Auch Felix Bauer, Business Development Manager Aerospace bei EOS, einem der führenden Hersteller von 3D-Druckern, kommt in einem Interview im AeroReport vom Herbst 2015 zu dem Schluss, dass der industrielle 3D-Druck keine neue industrielle Revolution darstellt. Er sagte in diesem Zusammenhang:

„Wir werden die heutigen Fertigungsverfahren nicht ersetzen, aber bieten mit der Additiven Fertigung eine weitere Option an — je nachdem, welche für eine bestimmte Anwendung die bessere Wahl ist.“¹⁷⁶

¹⁷⁵ vgl. Bass, *An Insider's View of the Myths and Truths of the 3-D Printing 'Phenomenon'*.

¹⁷⁶ vgl. Rienth, „Schicht für Schicht“, S. 32.

6 Fazit

Lebensmitteldrucker werden ihre Nische für individuell geformte Nudeln, Zucker oder Schokolade auf absehbare Zeit wohl nicht verlassen. Wenn die Mikrowelle die anderen Arten des Zubereitens von Speisen nicht ersetzen konnte, wird es dem 3D-Drucker mit Sicherheit auch nicht gelingen. Ein eigener Lebensmittel-Drucker wird sich daher in den nächsten Jahren kaum in einer privaten Küche finden. Mit gedruckten Wänden von Fertighäusern und Kleidungsstücken auf dem Laufsteg kann in Zukunft hingegen gerechnet werden.

Bioprinting wird, insbesondere für Gewebe- und Organtransplantate, in den nächsten Jahren Hoffnungsträger bleiben. Es ist zum aktuellen Zeitpunkt aber noch nicht absehbar, wann – wenn überhaupt – funktionstüchtige Organe, wie Herz, Niere oder auch nur Haut, gedruckt werden können. Die Hoffnung bleibt jedoch, dass eines Tages niemand mehr aufgrund von fehlenden Spenderorganen sterben muss.

Abschließend lässt sich sagen, dass 3D-Druck ein Werkzeug ist, und wie bei jedem Werkzeug ist es nötig, herauszufinden, wofür es sich eignet und wofür nicht. Es gibt Bereiche, in denen die Nutzung von 3D-Druckern Vorteile bringt und solche, in denen sie keine Zukunft haben wird. Für einige Anwendungsfälle, wie etwa dem Bioprinting, kann diese Entscheidung noch nicht getroffen werden, da die Realisierbarkeit noch ungewiss ist.

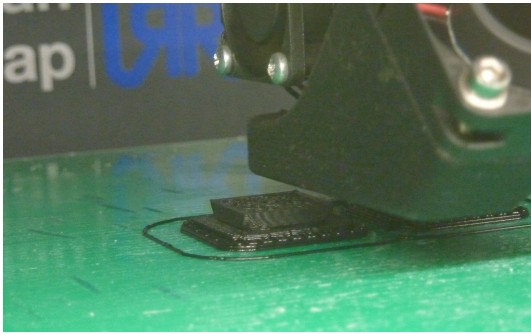
Und auch wenn dem 3D-Druck gerne nachgesagt wird, der Grundstein für die nächste industrielle Revolution, also einer tiefgreifenden Veränderung in allen relevanten Wirtschaftsbereichen, zu sein, erscheint sein Potenzial hierfür sehr zweifelhaft, auch wenn der 3D-Druck als Werkzeug an sich durchaus „revolutionär“ ist.

A Anhang 1: Würfelergebnisse

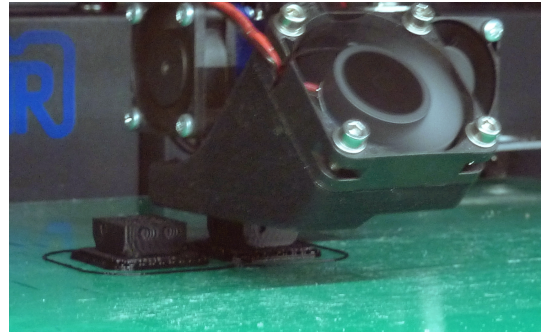
Tabelle A.1 Würfelergebnisse

Zahl	Würfel '1' unten	Würfel '6' unten
1	46	62
2	71	74
3	57	61
4	64	59
5	55	60
6	67	44
Summe	360	360

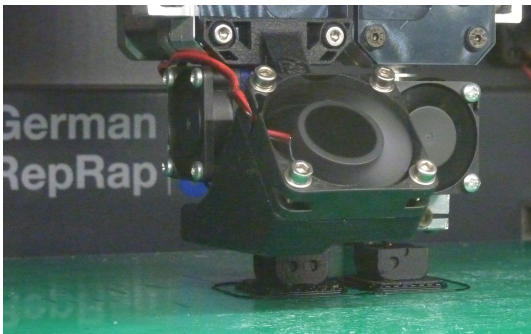
B Anhang 2: Fotos



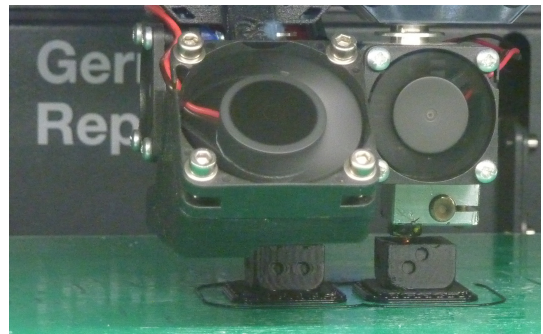
(a) Würfel während des Drucks – 1



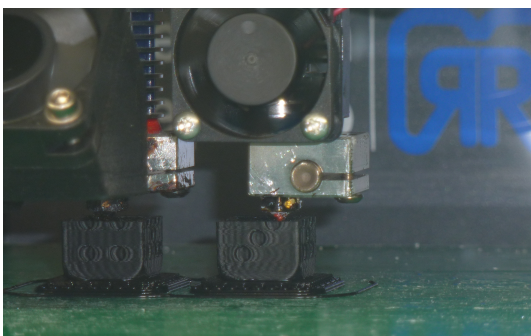
(b) Würfel während des Drucks – 2



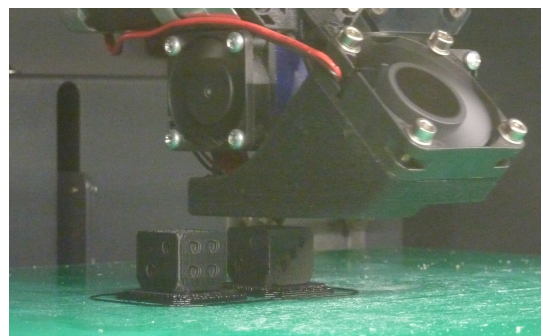
(c) Würfel während des Drucks – 3



(d) Würfel während des Drucks – 4



(e) Würfel während des Drucks – 5



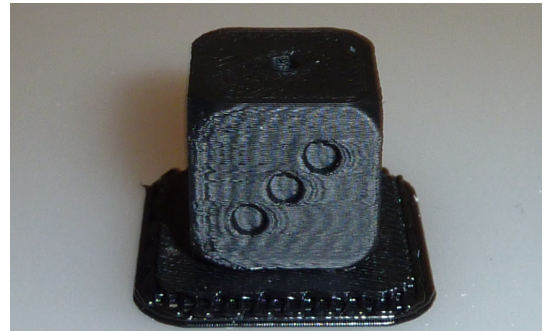
(f) Würfel während des Drucks – 6

Abbildung B.1 Eigene Darstellung: Entstehung der Würfel während des Druckens

B Anhang 2: Fotos



(a) Würfel am Ende des Drucks



(b) Würfel nach dem Druck – Nahansicht: Riffelung deutlich erkennbar

Abbildung B.2 Eigene Darstellung: Würfel nach Beendigung des Drucks

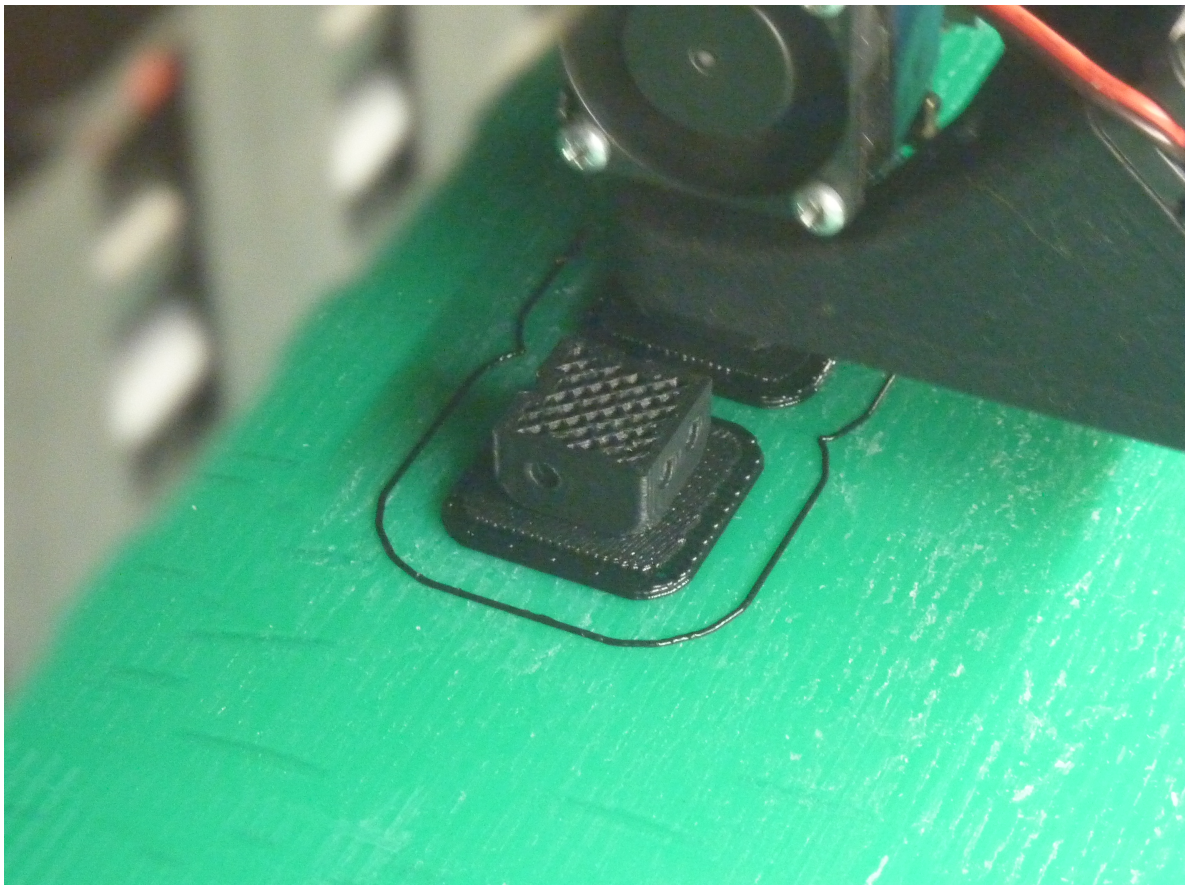


Abbildung B.3 Eigene Darstellung: 30 % Füllung des Hohlraumes



Abbildung B.4 Eigene Darstellung: Vergleich der '6'-Seite: Würfel mit '6' (links) und '1' (rechts) als Druckunterseite

Literatur

- Bernard, Alain**, Hrsg. *Global Product Development: Proceedings of the 20th CIRP Design Conference, Ecole Centrale de Nantes, Nantes, France, 19th-21st April 2010*. 1. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2011. ISBN: 978-3-642-15973-2.
- Breuninger, Jannis, Ralf Becker, Andreas Wolf, Steve Rommel und Alexander Verl**. *Generative Fertigung mit Kunststoffen. Konzeption und Konstruktion für Selektives Lasersintern*. 1. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. ISBN: 978-3-642-24324-0.
- Chua, Chee Kai und Wai Yee Yeong**. *Bioprinting. Principles and Applications*. 1. Aufl. Singapur: World Scientific Publishing, 2015. ISBN: 978-9-814-61210-4.
- Fastermann, Petra**. *3D – Drucken: Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert*. 1. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2014. ISBN: 978-3-642-40963-9.
- *3D-Druck/Rapid Prototyping: Eine Zukunftstechnologie – kompakt erklärt*. 1. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. ISBN: 978-3-642-29224-8.
- Gebhardt, Andreas**. *Generative Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion*. 4. Aufl. München: Carl Hanser Verlag, 2013. ISBN: 978-3-446-43651-0.
- *Generative Fertigungsverfahren: Rapid Prototyping – Rapid Tooling – Rapid Manufacturing*. 3. Aufl. München: Carl Hanser Verlag, 2007. ISBN: 978-3-446-22666-1.
- *Rapid Prototyping: Werkzeuge für die schnelle Produktentwicklung*. 2. Aufl. München: Carl Hanser Verlag, 2000. ISBN: 978-3-446-21242-8.
- *Understanding Additive Manufacturing. Rapid Prototyping – Rapid Tooling – Rapid Manufacturing*. 1. Aufl. München: Carl Hanser Verlag, 2011. ISBN: 978-3-446-42552-1.
- Gibson, Ian, David Rosen und Brent Stucker**. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. 2. Aufl. New York: Springer Science & Business Media, 2014. ISBN: 978-1-493-92112-6.
- Hagl, Richard**. *Das 3D-Druck-Kompendium – Leitfaden für Unternehmer, Berater und Innovationsstreiber*. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, 2015. ISBN: 978-3-658-07046-5.
- Komorowsky, Robert**. *Generative Fertigungsverfahren. Untersuchung zur Auswahl eines 3D-Druck-Systems für die Herstellung kunststoffbasierter Prototypen*. 1. Aufl. Hamburg: Diplomica Verlag, 2014. ISBN: 978-3-958-50587-2.
- Lee, Vivian K., Andrew Dias, Mehmet S. Ozturk, Kathleen Chen, Brad Tricomi, David T. Corr, Xavier Intes und Guohao Dai**. „3D Bioprinting and 3D Imaging for Stem Cell Engineering“. In: *Bioprinting in Regenerative Medicine*. Hrsg. von **Kursad Turksen**. 1. Aufl. Cham: Springer International Publishing, 2015, S. 33–66. ISBN: 978-3-319-21386-6.
- Leupold, Andreas und Silke Glossner**. *3D Druck, Additive Fertigung und Rapid Manufacturing. Rechtlicher Rahmen und unternehmerische Herausforderung*. 1. Aufl. München: Vahlen Franz, 2016. ISBN: 978-3-800-65149-8.
- Lipson, Hod und Melba Kurman**. *Fabricated: The New World of 3D Printing*. 1. Aufl. Indianapolis: Wiley Publishing, 2013. ISBN: 978-1-118-35063-8.
- Meindl, Matthias**. *Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing*. 1. Aufl. München: Herbert Utz Verlag, 2005. ISBN: 978-3-8316-0465-4.
- Moser, Angelika**. *Personal Manufacturing und Urheberrecht – »3D Druck« im privaten Umfeld*. 1. Aufl. Köln: Carl Heymanns Verlag, 2015. ISBN: 978-3-452-28588-1.

Literatur

- Nevmyvako, Nikolaj.** *Der Einfluss von 3D-Druckern auf die Logistikindustrie.* 1. Aufl. München: GRIN Verlag, 2014. ISBN: 978-3-656-82933-1.
- Riesmeier, Michael.** *3D-Druck. Auswirkungen auf Fertigungsabwicklung und Logistik.* 1. Aufl. München: GRIN Verlag, 2014. ISBN: 978-3-656-68860-0.
- Starly, Binil und Rohan Shirwaiker.** „Bioprinting Techniques“. In: *3D Bioprinting and Nanotechnology in Tissue Engineering and Regenerative Medicine.* Hrsg. von **Lijie Grace Zhang, John P. Fisher und Kam W. Leong.** 1. Aufl. London: Academic Press, 2015, S. 57–77. ISBN: 978-0-12-800547-7.
- Warnier, Claire, Dies Verbruggen von Unfold, Sven Ehmman und Robert Klanten.** *Dinge drucken. Wie 3D-Drucken das Design verändert.* 1. Aufl. Berlin: Die Gestalten Verlag, 2014. ISBN: 978-3-89955-529-5.

Magazin

- Fastermann, Petra.** „Nicht für den Hausgebrauch“. In: *Havard Business Manager* (Juli 2015). Als Teil des Artikels "Printpioniere", aufgezeichnet von Britta Domke und Ingmar Höhmann, S. 37–38. ISSN: 0945-6570.
- Gebhardt, Andreas.** „Grundlagen“. In: *RTejournal – Forum für Rapid Technologie* x0.3 (2012). ISSN: 1614-0923. URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0009-2-32805>.
- Klenk, Ulli.** „Von dieser Technik träumt jeder“. In: *Havard Business Manager* (Juli 2015). Als Teil des Artikels "Printpioniere", aufgezeichnet von Britta Domke und Ingmar Höhmann, S. 34–35. ISSN: 0945-6570.
- Kolesky, David B., Kimberly A. Homan, Mark A. Skylar-Scott und Jennifer A. Lewis.** „Three-dimensional bioprinting of thick vascularized tissues“. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113.12 (2016), S. 3179–3184. ISSN: 1091-6490. eprint: <http://www.pnas.org/content/113/12/3179.full.pdf>. URL: <http://www.pnas.org/content/113/12/3179.abstract>.
- König, Peter.** „So arbeiten 3D-Drucker“. In: *c't wissen 3D-Druck c't 3D-Druck* (Juni 2014), S. 20–23. ISSN: 0724-8679. URL: <http://www.heise.de/make/artikel/So-arbeiten-3D-Drucker-2545696.html>.
- König, Peter und Andreas Wand.** „FAQ: Einstieg in den 3D-Druck“. In: *c't wissen 3D-Druck c't 3D-Druck* (Juni 2014), S. 12–19. ISSN: 0724-8679. URL: <http://www.heise.de/ct/ausgabe/2013-24-Antworten-auf-die-haeufigsten-Fragen-2311506.html>.
- Kruth, J.P., X. Wang, Laoui T. und L. Froyen.** „Lasers and materials in selective laser sintering“. In: *Assembly Automation* 23.4 (2003), S. 357–371. ISSN: 0144-5154. URL: <http://dx.doi.org/10.1108/01445150310698652>.
- Kückelhaus, Markus.** „Wir diskutieren mit den Kunden“. In: *Havard Business Manager* (Juli 2015). Als Teil des Artikels "Printpioniere", aufgezeichnet von Britta Domke und Ingmar Höhmann, S. 38–39. ISSN: 0945-6570.
- Langer, Hans.** „Kein Plug and Play“. In: *Havard Business Manager* (Juli 2015). Als Teil des Artikels "Printpioniere", aufgezeichnet von Britta Domke und Ingmar Höhmann, S. 35–37. ISSN: 0945-6570.
- Launer, Stefan.** „Bessere Qualität als früher“. In: *Havard Business Manager* (Juli 2015). Als Teil des Artikels "Printpioniere", aufgezeichnet von Britta Domke und Ingmar Höhmann, S. 33–34. ISSN: 0945-6570.
- Mehrban, Nazia, Gui Zhen Teoh und Martin Anthony Birchall.** „3D bioprinting for tissue engineering: Stem cells in hydrogels“. In: *International Journal of Bioprinting* 2.1 (2016), S. 6–19. ISSN: 2424-8002. URL: <http://ijb.whioce.com/index.php/int-j-bioprinting/article/view/02006>.
- Melchels, Ferry P.W., Marco A.N. Domingos, Travis J. Klein, Jos Malda, Paulo J. Bartolo und Dietmar W. Huttmacher.** „Additive manufacturing of tissues and organs“. In: *Progress in Polymer Science* 37.8 (2012). Topical Issue on Biorelated polymers, S. 1079–1104. ISSN: 0079-6700. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670011001328>.

- Mend, Alexander.** „Linearantriebe für schnellen Einsatz“. In: *A&D Kompendium 2009/2010* (2010), S. 71–73.
- Mohr, Sebastian und Omera Khan.** „3D Printing and Its Disruptive Impacts on Supply Chains of the Future“. In: *The Technology Innovation Management Review* 5 (11 November 2015), S. 20–25. ISSN: 1927-0321. URL: <http://timreview.ca/issue/2015/november>.
- Rienth, Thorsten.** „Schicht für Schicht“. In: *AeroReport: das Luftfahrtmagazin der MTU Aero Engines* 2 (2015), S. 30–33. ISSN: 0942-8267. URL: <http://www.aeroreport.de/de/metanavigation/mediathek>.
- Sander, Peter.** „Unvorstellbares Potenzial“. In: *Harvard Business Manager* (Juli 2015). Als Teil des Artikels „Printpioniere“, aufgezeichnet von Britta Domke und Ingmar Höhmann, S. 31–32. ISSN: 0945-6570.
- Steffan, Philip.** „Elf 3D-Drucker im Test“. In: *c't wissen 3D-Druck* c't 3D-Druck (Juni 2014), S. 72–108. ISSN: 0724-8679.
- Thiesse, Frédéric, Marco Wirth, Hans-Georg Kemper, Michelle Moisa, Dominik Morar, Heiner Lasi, Frank Piller, Peter Buxmann, Letizia Mortara, Simon Ford und Tim Minschall.** „Economic Implications of Additive Manufacturing and the Contribution of MIS“. English. In: *Business & Information Systems Engineering* 57.2 (2015), S. 139–148. ISSN: 2363-7005. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s12599-015-0374-4>.

Sonstige schriftliche Quellen

A History of RepRap Development. Posts from the RepRap Development Blog. 2012. URL: <http://reprap.org/wiki/DeveloperBookshelf>.

Edmondston, Bettina. *3D-Drucker – Modelle für jeden Lebensbereich. Die Entwicklung des 3D-Drucks – Einsatzmöglichkeiten im Gesundheitsbereich – Zukunftsvisionen.* apoResearch Anlageinformation. Düsseldorf: Deutsche Apotheker- und Ärztekammer, November 2014.

First-ever public tasting of lab-grown Cultured Beef burger – Frequently Asked Questions. FAQ. 2012. URL: <http://www.maastrichtuniversity.nl/web/Main/Research/ResearchUM/FirsteverPublicTastingOfLabgrownCulturedBeefBurger.htm>.

Gartner, Johannes, Daniela Maresch und Matthias Fink. *Generative Fertigungsverfahren. Technologiefolgenabschätzung.* IFI-JKU Report. Linz: Johannes Kepler Universität Linz, Dezember 2014.

Marquardt, Erik. *Statusreport Additive Fertigungsverfahren.* Broschüre. Verein Deutscher Ingenieure e.V., September 2014. URL: www.vdi.de/statusadditiv.

Petschow, Ulrich, Jan-Peter Ferdinand, Sascha Dickel, Heike Flämig, Michael Steinfeldt und Anton Worobei. *Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit. Trajektorien und Potenziale innovativer Wertschöpfungsmuster zwischen Maker-Bewegung und Industrie 4.0.* Schriftenreihe/Diskussionspapier 206/14. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Juli 2014. URL: http://www.ioew.de/publikation/dezentrale_production_3d_druck_und_nachhaltigkeit/.

Vergin, Annika, Henning Hetzer, Wolfgang Heuer und Jörg Wellbrink. *Future Topic: Potenziale additiver Fertigungsverfahren. Was können 3D-Drucker?* Kurzstudie. Planungsamt der Bundeswehr, Oktober 2013. URL: http://www.planungsamt.bundeswehr.de/portal/a/plgabw/!ut/p/c4/JYvBDsIgeET_iC3x0OhNUk2891LxhrAhmlAg2229-PFCnJfMHF4GXtDI7qDohEp2CZ5gPV3eH1VTdG025IM8qk32QJhh6Y-AypeM0lswC7WO7KSwqoUldbmZn6MogB30ZAbd-Ed_z3dzs_NpHKeHmaGu6_UHZVQ1Mw!!/.

Internetquellen

- 3D Orthotics**, Hrsg. *3D Orthotics | 3D Printed Orthotics*. URL: <http://www.3dorthotics.com.au/> (besucht am 14.05.2016).
- 3D Printing Industry**, Hrsg. *History of 3D Printing: The Free Beginner's Guide*. Mai 2014. URL: <http://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/history/> (besucht am 08.10.2015).
- 3D Systems**, Hrsg. *The Journey of a Lifetime*. URL: <http://www.3dsystems.com/30-years-innovation> (besucht am 08.10.2015).
- 3Druck.com**, Hrsg. *3Druck — Material Liste*. URL: <http://3druck.com/3d-druck-material-liste/> (besucht am 23.09.2015).
- adidas AG**, Hrsg. *Maßgeschneidert aus dem 3D-Drucker: Erschaffe Deinen individuellen Laufschuh*. 7. Oktober 2015. URL: <http://www.adidas-group.com/de/medien/newsarchiv/pressemitteilungen/2015/massgeschneidert-aus-dem-3d-drucker-erschaffe-deinen-individuell/> (besucht am 19.02.2016).
- ARTE G.E.I.E.**, Hrsg. *Häuser aus dem 3D-Drucker*. 28. Dezember 2015. URL: <http://www.arte.tv/magazine/futuremag/de/hauser-aus-dem-3d-drucker-futuremag> (besucht am 25.02.2016).
- Bass, Carl**. *An Insider's View of the Myths and Truths of the 3-D Printing 'Phenomenon'*. Hrsg. von **Sonal Chokshi**. 28. Mai 2013. URL: <http://www.wired.com/2013/05/an-insiders-view-of-the-hype-and-realities-of-3-d-printing/> (besucht am 17.04.2016).
- Bitkom e.V.**, Hrsg. *Jeder Fünfte will einen 3D-Drucker nutzen*. 8. Januar 2014. URL: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Jeder-Fuenfte-will-einen-3D-Drucker-nutzen.html> (besucht am 09.10.2015).
- Bitonti, Francis**. *DITA'S GOWN*. URL: <http://www.francisbitonti.com/ditas-gown/> (besucht am 19.02.2016).
- Boggs, Will**. *3D 'bioprinter' produces bone, muscle, and cartilage*. Hrsg. von **Thomson Reuters**. 16. Februar 2016. URL: <http://www.reuters.com/article/us-health-biotech-3d-printers-idUSKCN0VO28X> (besucht am 11.04.2016).
- Bowyer, Adrian**. *RepRapGPLLicence*. 14. Dezember 2006. URL: <http://www.reprap.org/wiki/RepRapGPLLicence> (besucht am 05.05.2016).
- Churchill, Winston**. *Fifty Years Hence*. Hrsg. von **TeachingAmericanHistory.org**. Ursprüngliche Veröffentlichung im Strand Magazine, Dezember 1931. URL: <http://teachingamericanhistory.org/library/document/fifty-years-hence/> (besucht am 30.03.2016).
- CIBUSParma**, Hrsg. *Allo stand Barilla prototipo di stampante 3D per la #pasta #cibus2016 #barilla Pad.6 e004*. 10. Mai 2016. URL: <https://twitter.com/CibusParma/status/729994455470768128> (besucht am 14.05.2016).
- Crump, Scott**. *Apparatus and method for creating three-dimensional objects*. US Patent 5,121,329. Juni 1992. URL: <http://www.google.com/patents/US5121329> (besucht am 12.10.2015).
- DDD-Filament.de**, Hrsg. *Laywood, ein Holzfilament für 3D Drucker*. URL: <http://ddd-filament.com/kunststoffe/laywood-holzfilament/> (besucht am 23.09.2015).

- Deckard, Carl, Joseph Beaman und James Darrah.** *Method for selective laser sintering with layerwise cross-scanning.* US Patent 5,155,324. Oktober 1992. URL: <http://www.google.com/patents/US5155324> (besucht am 12. 10. 2015).
- Deutscher Konditorenbund (BIV),** Hrsg. *Baumkuchen: Der König der Konditorei.* URL: <http://www.konditoren.de/presse/baumkuchen.html> (besucht am 08. 10. 2015).
- Deutsches Ärzteblatt,** Hrsg. *3D-Printer druckt lebende Ohren, Muskeln und Knochen.* 16. Februar 2016. URL: <http://www.aerzteblatt.de/treffer?mode=s&wo=17&typ=1&nid=65741&s=3D-Drucker> (besucht am 15. 05. 2016).
- Hrsg. *Tracheobronchomalazie: Implantat aus dem 3D-Drucker wächst mit.* 3. Mai 2015. URL: <http://www.aerzteblatt.de/treffer?mode=s&wo=17&typ=1&nid=62674&s=3D-Drucker> (besucht am 15. 05. 2016).
- Dilawar, Arvind.** *Is company's claim of meat without murder too good to be true? Brooklyn startup Modern Meadow says it is developing laboratory-grown meat but the process currently relies on the blood of unborn calves.* 5. September 2015. URL: <http://www.theguardian.com/business/2015/sep/05/meat-without-murder-modern-meadow> (besucht am 30. 03. 2016).
- Domscheit-Berg, Anke.** *Deutsche Industrie verschläft 3-D-Druck. 3D-Druck wird alle Industriezweige umkämpfen.* 19. Juni 2015. URL: <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/it/3d-druck-wird-alle-industriezweige-umkempeln-a-1039419.html> (besucht am 20. 05. 2016).
- Dudenverlag,** Hrsg. *Sintern.* URL: <http://www.duden.de/node/811967/revisions/1118373/view> (besucht am 06. 10. 2015).
- EOS GmbH,** Hrsg. *Geschichte.* URL: http://www.eos.info/ueber_eos/geschichte (besucht am 12. 10. 2015).
- Essential Dynamics,** Hrsg. *Press Releases.* 15. Januar 2012. URL: <http://theimaginemachine.com/de/column-2/press-releases> (besucht am 09. 10. 2015).
- Gartner,** Hrsg. *Gartner Says Medical Applications Are Leading Advancement in 3D Printing.* 25. August 2015. URL: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3117917> (besucht am 13. 02. 2016).
- Gartner, Johannes.** *2014 laufen die Patente für Lasersintern aus: neuer Boom erwartet.* 23. Juli 2013. URL: <http://3druck.com/drucker-und-produkte/2014-laufen-die-patente-fuer-lasersintern-aus-neuer-boom-erwartet-0311637/> (besucht am 13. 02. 2016).
- *EOS GmbH feiert 25-jähriges Bestehen und zieht im neuen Technologie- und Kundenzentrum am Hauptsitz in Krailling ein.* 21. Juli 2014. URL: <http://3druck.com/hersteller/eos-gmbh-feiert-25-jaehrigen-bestehen-und-zieht-im-neuen-technologie-und-kundenzentrum-hauptsitz-krailling-ein-3721014/> (besucht am 12. 10. 2015).
- *Grundkurs 3D-Drucker – Teil 2: Übersicht der aktuellen 3D-Druckverfahren.* 18. Oktober 2011. URL: <http://3druck.com/grundkurs-3d-drucker/teil-2-uebersicht-der-aktuellen-3d-druckverfahren-462146/> (besucht am 07. 10. 2015).
- *Imagine 3D-Printer: Der erste Lebensmittel 3D-Drucker am Markt.* 23. Januar 2012. URL: <http://3druck.com/drucker-und-produkte/imagine-3d-printer-der-erste-lebensmittel-3d-drucker-am-markt-252860/> (besucht am 23. 09. 2015).
- *The Liberator: Erste funktionsfähige Waffe aus dem 3D-Drucker. Update: ATF Test zeigt Gefährlichkeit des Liberators.* 19. November 2013. URL: <http://3druck.com/objects/>

- the-liberator-erste-funktionsfaehige-waffe-aus-dem-3d-drucker-2510359/ (besucht am 13.02.2016).
- Greenberg, Andy.** *Meet The 'Liberator': Test-Firing The World's First Fully 3D-Printed Gun.* 5. Mai 2013. URL: <http://www.forbes.com/sites/andygreenberg/2013/05/05/meet-the-liberator-test-firing-the-worlds-first-fully-3d-printed-gun/> (besucht am 13.02.2016).
- Grönweg, Simone.** *Revolution in Schichten – 3D Druck und seine künftigen Anwendungen.* 20. März 2015. URL: http://www.tecchannel.de/pc_mobile/peripherie/3196547/revolution_in_schichten/ (besucht am 12.10.2015).
- Handelsblatt GmbH, Hrsg.** *Additive Fertigung: 3D-Druck erreicht den Maschinenbau.* 9. Februar 2016. URL: <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/additive-fertigung-3d-druck-erreicht-den-maschinenbau/12932564-all.html> (besucht am 07.03.2016).
- hevo-plastics.com, Hrsg.** *Was ist Extrusion?* URL: http://www.hevo-plastics.com/html/was_ist_extrusion.html (besucht am 07.10.2015).
- Hull, Charles W.** *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography.* US Patent 4,575,330. März 1986. URL: <http://www.google.de/patents/US4575330> (besucht am 08.10.2015).
- Kempkens, Wolfgang.** *Chinesische Ingenieure bauen Villa mit 3D-Drucker. Reduzierte Kosten und Bauzeit.* 31. Januar 2015. URL: <http://www.ingenieur.de/Themen/3D-Druck/Chinesische-Ingenieure-bauen-Villa-3D-Drucker> (besucht am 25.02.2016).
- Kew, Oliver.** *Interior secrets of next-generation Mercedes S-Class.* 20. August 2014. URL: <http://www.autoexpress.co.uk/mercedes/s-class/88314/interior-secrets-of-next-generation-mercedes-s-class> (besucht am 14.05.2016).
- Koll, Sabine.** *Bioprinting: Chancen, Grenzen und Herausforderungen beim gezielten Drucken von Zellen. Niere aus dem Drucker? Sag niemals nie.* 9. April 2015. URL: <http://www.medizin-und-technik.de/was-die-zukunft-bringt/-/article/33568401/40578835/Niere-aus-dem-Drucker-Sag-niemals-nie> (besucht am 13.02.2016).
- Kolosos.** *Fused Deposition Modeling.* Wikipedia: Fused Deposition Modeling (deutscher Artikel). CC BY-SA 3.0. 3. Juli 2005. URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Fused_Deposition_Modeling#/media/File:Rapid-dino.jpg (besucht am 07.10.2015).
- König, Peter.** *Auf dem Schießstand: Die Pistole aus dem 3D-Drucker.* 4. Oktober 2013. URL: <http://www.heise.de/make/meldung/Auf-dem-Schießstand-Die-Pistole-aus-dem-3D-Drucker-1972516.html> (besucht am 03.03.2016).
- *Stereolithographie. 3D-Druck mit Photopolymer und UV-Licht.* 18. November 2015. URL: <http://www.heise.de/make/artikel/Stereolithographie-2923517.html> (besucht am 13.03.2016).
- Krämer, Andreas.** *Shuty MP-1: Die halbautomatische Schusswaffe aus dem 3D-Drucker.* 5. Februar 2016. URL: <http://www.3d-grenzenlos.de/magazin/3d-objekte/halbautomatische-schusswaffe-aus-dem-3d-drucker-27156183.html> (besucht am 05.03.2016).
- Lebensmittellexikon, Hrsg.** *Fleisch, Schlachtfleisch.* 27. Oktober 2015. URL: <https://www.lebensmittellexikon.de/f0000200.php> (besucht am 30.03.2016).
- Michler, Inga.** *3-D-Druck leitet dritte industrielle Revolution ein. Radikaler Wandel.* 2. Juni 2014. URL: <http://www.welt.de/wirtschaft/article128614810/3-D-Druck-leitet-dritte-industrielle-Revolution-ein.html> (besucht am 20.05.2016).

- Mims, Christopher.** *The audacious plan to end hunger with 3-D printed food. NASA-funded research.* 20. Mai 2013. URL: <http://qz.com/86685/the-audacious-plan-to-end-hunger-with-3-d-printed-food/> (besucht am 25.02.2016).
- Modern Meadow.** *Engineered Comestible Meat – Modern Meadow.* Hrsg. von **U.S. Department of Agriculture.** URL: <http://www.reeis.usda.gov/web/crisprojectpages/0228895-engineered-comestible-meat.html> (besucht am 30.03.2016).
- National Aeronautics and Space Administration (NASA),** Hrsg. *3D Printing: Food in Space.* 23. Mai 2013. URL: http://www.nasa.gov/directorates/spacetech/home/feature_3d_food.html (besucht am 25.02.2016).
- Natural Machines,** Hrsg. *NATURAL MACHINES / FAQs.* URL: <https://www.naturalmachines.com/faq/> (besucht am 25.02.2016).
- Nicolai, Birger.** *3-D-Drucker lehren die Logistiker das Fürchten.* 28. September 2013. URL: <http://www.welt.de/wirtschaft/article120474302/3-D-Drucker-lehren-die-Logistiker-das-Fuerchten.html> (besucht am 19.03.2016).
- Paracelsus-Kliniken Deutschland GmbH & Co. KGaA,** Hrsg. *Neue Knieprothesen aus dem 3D-Drucker in der Paracelsus-Klinik Henstedt-Ulzburg.* 22. April 2016. URL: <https://www.paracelsus-kliniken.de/nc/henstedt-ulzburg/aktuelles/presse/pressemitteilung-im-detail/article/neue-knieprothesen-aus-dem-3d-drucker-in-der-paracelsus-klinik-henstedt-ulzburg.html> (besucht am 15.05.2016).
- Pluta, Werner.** *Bioprinting: Forscher drucken implantierbares Gewebe.* Hrsg. von **Golem Media GmbH.** 16. Februar 2016. URL: <http://www.golem.de/news/bioprinting-forscher-drucken-implantierbares-gewebe-1602-119161.html> (besucht am 17.04.2016).
- Post CH AG,** Hrsg. *Vom 3D-Print-Angebot der Post profitieren und bei uns 3D-Print-Produkte kaufen.* URL: <https://www.postshop.ch/de/Aktuell/3D-Print> (besucht am 02.03.2016).
- Print2Taste GmbH,** Hrsg. *Druckbare Lebensmittel. Hochwertige lebensmittelmischungen Drucken.* URL: <http://www.print2taste.de/de/druckbare-lebensmittel/> (besucht am 09.03.2016).
- ProTec3D,** Hrsg. *Vor- und Nachteile der 3D Druck Technologien.* 2013. URL: <http://www.protec3d.de/3d-drucken/vor-und-nachteile/> (besucht am 07.05.2016).
- Protovision3D S.A.S. di Merlano Pier Mario e C.** *Stampante 3D Systems ProJet 1500.* 3. Dezember 2015. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=XvtXaPk7c7U> (besucht am 07.05.2016).
- Quitter, Dorothee.** *Emmas magische Arme: Kleine Belohnungen.* Hrsg. von **konstruktionspraxis.de.** 7. September 2015. URL: <http://www.konstruktionspraxis.vogel.de/emmas-magische-arme-a-503424/index3.html> (besucht am 23.04.2016).
- reichelt elektronik GmbH & Co. KG,** Hrsg. *Zwei Drittel der Deutschen wollen 3D-Drucker nutzen.* Studie durchgeführt von: TNS Emnid. 22. Mai 2015. URL: <http://www.presseportal.de/pm/115736/3028785> (besucht am 09.10.2015).
- Scheuerer, Joachim.** *Repliziertes Fleisch und der 3D-Drucker als Metzger von morgen.* 8. November 2013. URL: <http://uni.de/redaktion/repliziertes-fleisch-aus-dem-3d-drucker> (besucht am 10.04.2016).
- Scott, Duann.** *Revealing Dita Von Teese in a Fully Articulated 3D Printed Gown.* 5. März 2013. URL: <http://www.shapeways.com/blog/archives/1952-revealing-dita-von-teese-in-a-fully-articulated-3d-printed-gown.html> (besucht am 19.02.2016).

- Städtisches Klinikum Karlsruhe gGmbH**, Hrsg. *Erste Halswirbelsäulenoperation mit 3D gedrucktem patientenspezifischen Titanimplantat*. 20. Mai 2015. URL: <http://www.klinikum-karlsruhe.com/aktuelles/presse/pressemitteilung/detail/erste-halswirbelsaeulenoperation-mit-3d-gedrucktem-patientenspezifischen-titanimplantat.html> (besucht am 06.03.2016).
- Staender, Nicola**. *Der Star-Trek-Replikator wird Wirklichkeit: Pizza auf dem Mars*. 4. Januar 2016. URL: <http://motherboard.vice.com/de/read/pizza-auf-dem-mars-786> (besucht am 25.02.2016).
- Stinson, Taylor N.** *Dam Neck Explores Future of 3D Printing for Navy*. 27. Juni 2014. URL: http://www.navy.mil/submit/display.asp?story_id=81936 (besucht am 20.03.2016).
- Stratasys**, Hrsg. *3D Drucker Industrie – unbegrenzte Möglichkeiten. Branchen*. URL: <http://www.stratasys.com/de/industrien> (besucht am 18.02.2016).
- Hrsg. *3D-Druck eröffnet neue Wege für die Fertigung maßgeschneiderter medizinischer Geräte. Fallstudien zur Medizinbranche: Mithilfe von 3D-Druck können Leben gerettet werden*. URL: <http://www.stratasys.com/de/resources/case-studies/medical/nemours> (besucht am 09.11.2015).
- Hrsg. *Connex3 – Rapid Tooling und Rapid Prototyping mit mehreren Materialien*. URL: <http://www.stratasys.com/de/3d-drucker/production-series/connex3-systems> (besucht am 23.09.2015).
- Stratasys Direct**, Hrsg. *World's First 3D Printed Metal Gun*. 7. November 2013. URL: <https://www.stratasysdirect.com/blog/worlds-first-3d-printed-metal-gun/> (besucht am 15.05.2016).
- The UPS Store**, Hrsg. *3D Printing Services from The UPS Store*. URL: <https://www.theupsstore.com/print/3d-printing> (besucht am 09.03.2016).
- Tovar, Günter**. *Blutgefäße aus dem Drucker*. 24. August 2011. URL: <http://www.igb.fraunhofer.de/de/presse-medien/presseinformationen/2011/blutgefasse-aus-dem-drucker.html> (besucht am 11.04.2016).
- Tucker, Patrick**. *Talking Helmets and Robot Builders: The Army's Future of 3D Printing*. 5. Oktober 2015. URL: <http://www.defenseone.com/technology/2015/10/talking-helmets-robot-built-bases-army-peers-future-3d-printing/122551/> (besucht am 20.03.2016).
- van Herpen, Iris**. *Couture – Crystallization*. Juli 2010. URL: <http://www.irisvanherpen.com/couture#crystallization> (besucht am 19.02.2016).
- Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW)**, Hrsg. *Revolution in der Metallbearbeitung durch Additive Manufacturing bleibt vorerst aus – VDW-Studie zu Chancen und Risiken von AM gibt Entwarnung – nur ein Prozent Substitution bestehender Verfahren*. 23. Februar 2016. URL: http://www.metav.de/cipp/md_metav/custom/pub/content,oid,2592/lang,1/ticket,g_u_e_s_t/~/Revolution_in_der_Metallbearbeitung_durch_Additive_Manufacturing_bleibt_vorerst_aus_-_VDW-Studie_zu_Chancen_und_Risiken_von_AM_gibt_Entwarnung_%E2%80%93_nur_ein_Prozent_Substitution_bestehender_Verfahren.html (besucht am 19.03.2016).
- VOA News**. *Chinese Doctors Use 3-D Spinal Implant*. 27. August 2014. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=nMfh7VpCBsE> (besucht am 20.05.2016).
- Willett, Megan**. *This Is The Best 3D Food Printer We've Seen Yet – And It Makes Stunning Desserts*. 13. September 2014. URL: <http://www.businessinsider.com.au/3d-systems-chefjet-printers-2014-9> (besucht am 15.05.2016).

Internetquellen

- Xu, N., F. Wei, X. Liu, L. Jiang, H. Cai, Z. Li, M. Yu, F. Wu und Z. Liu.** *Reconstruction of the Upper Cervical Spine Using a Personalized 3D-Printed Vertebral Body in an Adolescent With Ewing Sarcoma.* Januar 2016. URL: www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26335676 (besucht am 06.03.2016).
- Zarre, Doris.** *Nudeln aus dem 3D-Drucker von Barilla.* 12. Mai 2016. URL: <https://3druck.com/drucker-und-produkte/barilla-stellt-nudel-3d-drucker-vor-2444928/> (besucht am 14.05.2016).

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren

