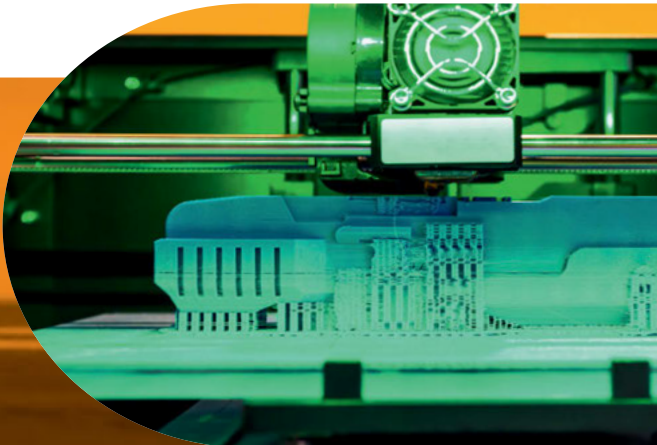


Andreas Leupold | Silke Glossner

3D-Druck, Additive Fertigung und Rapid Manufacturing

Rechtlicher Rahmen und
unternehmerische Herausforderung



 **MANAGEMENT
COMPETENCE**

Vahlen

Zum Inhalt

3D-Druck: Wirtschaftliche Chancen und rechtliche Rahmenbedingungen

Dieser Praxisratgeber bietet einen verständlichen Überblick über die technischen Grundlagen und rechtlichen Herausforderungen des industriellen 3D-Drucks. Die wirtschaftlichen Chancen für Unternehmen, die sich durch die additive Fertigung bieten, werden aufgezeigt. Viele Praxisbeispiele u.a. aus der Automobilbranche, der Luftfahrt, der Konsumgüterindustrie sowie Medizin veranschaulichen, was heute schon möglich ist und morgen selbstverständlich sein wird. Einen breiten Raum nehmen aber auch die rechtlichen Fragen ein: Wie schütze ich mich vor Plagiaten, wer haftet bei Produktfehlern und was darf man mit dem 3D-Drucker selbst herstellen?

Aus dem Inhalt

- Einsatzmöglichkeiten des industriellen 3D-Drucks
- Produktimitationen und wie Sie sich davor schützen
- Ersatzteile und Zubehör aus dem 3D-Drucker
- Produkthaftung und Produzentenhaftung
- Vertragliche Absicherung

Zu den Autoren

Dr. Andreas Leupold verfügt als Industrieanwalt über langjährige Erfahrungen bei der Beratung von Unternehmen in aktuellen Fragen des IT-, Technologie- und Medienrechts.

Silke Glossner ist Richterin am LG München I und Mitherausgeberin des Münchener Anwaltshandbuchs IT-Recht.

3D-Druck, Additive Fertigung und Rapid Manufacturing

Rechtlicher Rahmen und unternehmerische
Herausforderung

von

Dr. Andreas Leupold LL. M.

Silke Glossner LL. M.

Verlag Franz Vahlen GmbH

Vorwort

„Es gibt keinen Grund, warum irgendjemand einen Computer in seinem Haus wollen würde.“

(Prognose von Ken Olson, Präsident der Digital Equipment Corp. im Jahre 1977).

Obwohl der erste 3D-Drucker und das Stereolitografie-Verfahren von Charles „Chuck“ Hall bereits 1984 entwickelt wurden,¹ waren additive Fertigungstechniken und der 3D-Druck noch vor wenigen Jahren kein Thema für die Tagespresse, sondern allenfalls für Fachmagazine und Bastler-Blogs. Für die Anschaffung eines 3D-Druckers mit rudimentären Funktionen mussten lange Zeit fünf- bis sechsstellige Beträge ausgegeben werden. Im Jahr 2007 war es noch eine kleine Sensation, als der erste 3D-Drucker für den Heimgebrauch für einen Preis von knapp 5000 US Dollar auf den Markt kam.² 3D-Drucker waren damals noch ein Nischenprodukt mit sehr begrenzten Einsatzbereichen und ihre Nutzung in der industriellen Serienproduktion fernliegend.

Nur acht Jahre später hat sich diese Situation grundlegend geändert, 3D-Druck und additive Fertigung boomen. 3D-Drucker für den Hausgebrauch sind nun schon für unter 400 US Dollar erhältlich.³ Die eigentliche Revolution findet aber in der Industrie statt, die mehr und mehr die Möglichkeiten und Chancen des 3D-Drucks erkennt. Der dreidimensionale Druck erlaubt die einfache und schnelle Erstellung von Prototypen wie individuell angepasster Massenware, und auch die aufwendige Suche nach einem seltenen Ersatzteil gehört damit der Vergangenheit an. Unternehmen lassen dann vielleicht Bauteile oder Teilprodukte nicht mehr im Container mit LKW oder Bahn anliefern, vor Ort lagern, anpassen, einbauen. Stattdessen wird vor Ort gefertigt, was benötigt wird – nach dem Prinzip just in time genau nach Bedarf und nach den eigenen speziellen Anforderungen. Nicht nur für das Unternehmen selbst, sondern auch und erst recht der Zulieferindustrie sowie der Transport- und Logistikbranche steht damit ein tiefgreifender Wandel bevor.

So vergeht auch kaum ein Tag, an dem die Presse nicht über neue Möglichkeiten des 3D-Drucks berichtet.⁴ Das Wirtschaftsmagazin *The Economist* erkannte Anfang 2012 in der additiven Fertigung bereits die „dritte industrielle Revolution“.⁵ Skeptiker mögen dies zwar (noch) bezweifeln,⁶ doch alle derzeitigen Entwicklungen lassen tatsächlich nur den Schluss zu, dass der 3D-Druck das Potenzial dazu hat, die Art und Weise, wie Produkte hergestellt und vertrieben werden, tiefgreifend zu verändern.

Mit solch grundlegenden Revolutionen in der Produktion geht aktuell ein – rasanter – Wandel in den Geschäftsbeziehungen der Beteiligten einher. Wo sich aber die Geschäftsbeziehungen ändern, ändern sich auch die rechtlichen Beziehungen. Nicht wenige sehen mit Sorge auf die rechtlichen Probleme, die

die additiven Fertigungsprozesse mit sich bringen. Eine solche Sorge resultiert aber oft auch aus Unsicherheit und Unkenntnis der rechtlichen Gegebenheiten und Möglichkeiten.

Spannende Zeiten also für jeden, der sich für neue Technologien und ihre wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und rechtlichen Weiterungen begeistern kann. Wir haben uns deshalb entschieden, einen Leitfaden zu schreiben, der das Potenzial des 3D-Drucks in der industriellen Fertigung aufzeigt: er soll eine Einladung an den Leser sein, sich mit den Möglichkeiten und Chancen, aber auch den rechtlichen Problemen der neuen Fertigungstechnik zu beschäftigen. Das Buch will gleichzeitig Geschäftsführern, Vorständen und Führungskräften auch ohne technische oder rechtliche Vorkenntnisse das Grundlagenwissen vermitteln, das diese benötigen um sich selbst ein Bild machen zu können. Ein großes Anliegen ist es uns dabei, auch kompliziert wirkende rechtliche Fragen leicht verständlich darzustellen. Problemstellungen werden stets von Grund auf entwickelt, meist anhand von einfachen Fragen oder Fällen. Auf aktuelle Trends und Entwicklungen wird an geeigneter Stelle hingewiesen, denn viele Dinge sind im Fluss.

Eine „zwingende Reihenfolge“ für die Lektüre unseres Ratgebers gibt es nicht und soll es auch nicht geben. Jene Leser, die sich mit dem Thema „Additive Fertigung und 3D-Druck“ noch nicht näher auseinandergesetzt haben, werden wohl am meisten von der Lektüre profitieren, wenn sie sich zunächst mit den Anwendungsmöglichkeiten und technischen Grundlagen des 3D-Drucks vertraut machen, bevor sie sich mit den rechtlichen Aspekten befassen. In **Kapitel 1** geben wir zunächst einen Überblick über die Branchen und Industrien, in denen additive Fertigungstechniken und 3D-Drucker bereits zur Herstellung von Prototypen, Sonderanfertigungen oder auch in der Serienproduktion genutzt werden und präsentieren einige spannende und manchmal auch überraschende Anwendungsbeispiele. In **Kapitel 2** folgt eine Darstellung der wichtigsten Fertigungsverfahren und Fertigungsmaterialien. **Kapitel 3** widmet sich dann den wirtschaftlichen Vorteilen des 3D-Drucks und insbesondere der dadurch möglich werdenden Verkürzung der Lieferketten. Bei all den unbestreitbaren Vorteilen des 3D-Drucks dürfen freilich auch die Risiken nicht übersehen werden, zu denen insbesondere die erwartete Zunahme von Produktimitationen zählt, die sich noch schwerer von den Originalwaren unterscheiden lassen werden als herkömmliche Nachbauten. In **Kapitel 4** setzen wir uns deshalb mit den verschiedenen Erscheinungsformen der Produktpiraterie auseinander und betrachten zunächst einige technische Lösungen zur Bekämpfung von Produktimitationen. Im Anschluss hieran erläutern wir sodann, wie sich Unternehmen mit gewerblichen Schutzrechten vor einer Benutzung ihrer technischen Erfindungen und Produktdesigns schützen und gegen Produktimitationen aus dem 3D-Drucker vorgehen können. Von diesem Teil des Ratgebers profitiert auch, wer keine juristischen Kenntnisse mitbringt: denn wir erläutern im ersten Abschnitt dieses Kapitels zunächst, welche Schutzrechte generell dafür zur Verfügung stehen und wie sie erworben werden können. Im zweiten Abschnitt gehen wir dann im Einzelnen der Frage nach, ob und wie sich Druckverfahren und 3D-Modelle vor einer Übernahme durch Wettbewerber und Produktpiraten

schützen lassen und welche Schutzrechte durch die Erstellung eines 3D-Scans vom Originalprodukt zur Erzeugung von Druckvorlagen für Produktimitationen aus dem 3D-Drucker verletzt sein können. Im dritten und vierten Abschnitt erörtern wir, wer für die Verletzung gewerblicher Schutzrechte haftet und welche Ansprüche gegen ihn geltend gemacht werden können. Im fünften und letzten Abschnitt dieses Kapitels zeigen wir schließlich, wie bei einem Verdacht auf eine Schutzrechtsverletzung vorzugehen ist und wie Rechteinhaber ihre Ansprüche gegen Verletzer auf dem Rechtsweg durchsetzen können.

Da künftig vermehrt Ersatzteile und Zubehör aus dem 3D-Drucker kommen werden, erläutern wir in **Kapitel 5**, welche rechtlichen Gesichtspunkte dabei zu beachten sind. Gerade in der industriellen Produktion kommt den Material- und Rohstoffkosten besondere Bedeutung zu. Die heute in 3D-Druckern verwendeten Metall- und Kunststoffpulver sind noch sehr aufwendig in der Herstellung und entsprechend teuer in der Anwendung. In **Kapitel 6** befassen wir uns daher mit der rechtlichen Zulässigkeit des Vertriebs kompatibler und wieder befüllter Druckerkartuschen und der Frage, ob die von einigen Druckerherstellern zur Verhinderung Verwendung alternativer Verbrauchsmaterialien eingeführten Authentifizierungssysteme umgangen werden dürfen. **Kapitel 7** ist dem Thema 3D-Druck und Compliance gewidmet und behandelt wichtige Anforderungen an die Produktsicherheit von Gebrauchsgegenständen, Kraftfahrzeugen und Medizinprodukten, zu denen insbesondere auch Implantate gehören, die mittels 3D-Druckverfahren hergestellt werden. Da wie bei jedem anderen Fertigungsverfahren auch Produkte aus dem 3D-Drucker fehlerhaft sein können, wird sich in Zukunft öfter die nicht immer einfach zu beantwortende Frage stellen, wer für Fehler der so entstandenen Produkte einzustehen hat. In **Kapitel 8** geben wir unseren Lesern daher eine Einführung in die Produkt- und Produzentenhaftung und versuchen, erste Antworten auf diese Fragen zu geben.

Um den praktischen Nutzwert unseres Ratgebers zu erhöhen haben wir neben einem Abkürzungs- und Stichwortverzeichnis auch ein Glossar aufgenommen, das den Zugang zu bestimmten Themen erleichtern soll.

Ein Wort noch in eigener Sache: für die additiven Fertigungsverfahren ergeben sich laufend neue Anwendungsmöglichkeiten. Was heute noch fernliegend erscheint, kann morgen schon zur Realität werden. Wegen dieser besonderen Dynamik, die den 3D-Druck kennzeichnet, können viele Beispiele in diesem Ratgeber nur eine Momentaufnahme des gerade Machbaren sein. Bereits etablierte Druckverfahren werden durch neue, schnellere ersetzt und manche Prognose wird von der tatsächlichen Entwicklung überholt. Für Anregungen und Verbesserungsvorschläge sind wir daher immer offen und freuen uns über Rückmeldungen unserer Leser zu unserem Werk.

Unser besonderer Dank gilt dem Verlag Franz Vahlen, und dort Herrn Kilian, der das Lektorat mit besonderem Sachverstand und hilfreichen Hinweisen begleitet hat.

Anmerkungen

Hinweis: Alle Fußnoten dieses Buches gibt es als kostenloses Dokument unter www.vahlen.de/16022232. So müssen Sie keinen Link abtippen.

- ¹ <http://3druck.com/featured/charles-chuck-hull-wie-alles-begann-3621576/>; vgl. dazu auch <http://edition.cnn.com/2014/02/13/tech/innovation/the-night-i-invented-3d-printing-chuck-hall/>
- ² mit dem Desktop Factory 125 ci
- ³ <http://wanhaousa.com/products/duplicator-i3-steel-frame>
- ⁴ Vgl. etwa <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Electroloom-3D-Drucker-fuer-Kleidung-2657261.html>; <http://www.gizmodo.de/2015/05/18/ge-aviation-baut-miniatur-duesentriebwerk-aus-dem-3d-drucker.html>;
- ⁵ <http://www.economist.com/node/21552901>
- ⁶ <http://www.handelszeitung.ch/invest/stocksDIGITAL/3d-druck-hype-und-ernuechterung-756899>; <http://www.godmode-trader.de/artikel/wieso-3d-druck-traeume-zerplatzen,3706996>; https://hci.rwth-aachen.de/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=1882

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks und der additiven Fertigungsverfahren	1
1.1 Einsatz von 3D-Druckern im Automobilbau	1
1.2 Additive Fertigung in der Luft- und Raumfahrt	4
1.3 Bekleidungs- und Textilindustrie	6
1.4 Wenn der Schuh nicht mehr drückt: 3D-Druck Sportschuhe und High Heels	8
1.5 3D-Druck in der Medizin: Bioprinting, Implantate und Orthopädie	9
1.6 3D-Druck in der Möbelindustrie	14
1.7 3D-Druck in der Architektur	16
1.8 Spielwaren und 3D-Druck im Schulunterricht	17
1.9 Kunst	18
1.10 Lebensmittel	19
1.11 Sonstige Gebrauchsgegenstände	23
2 Wie 3D-Druck funktioniert: Eine Einführung für Uneingeweihte .	27
2.1 Von der Cheops Pyramide zum 3D-Druck	27
2.2 Aktuelle 3D-Druckverfahren im Überblick	28
2.2.1 Stereolithografie	28
2.2.2 Digital Light Processing (DLP)	31
2.2.3 Film Transfer Imaging (FTI)	32
2.2.4 Selektives Laser Sintern (SLS) und Selektives Laser Schmelzen (SLM)	33
2.2.5 Fused Deposition Modeling (FDM) und Free Form Fabrication (FFF)	35
2.2.6 Glass 3D Printing (G3DP)	36
2.2.7 Inkjet Verfahren	37
2.2.8 Electron Beam Melting (EBM, Elektronenstrahlschmelzen)	41
2.2.9 Contour Crafting (CC)	42
3 Wirtschaftliche Auswirkungen des 3D-Drucks	45
3.1 3D-Druck: Ein Wachstumsmarkt	45
3.2 Kürzere Lieferketten durch 3D-Druck	45
3.3 Schnellerer Markteintritt	48
3.4 Von der Massenproduktion zur „Mass Customization“	49
3.5 Beschleunigte Herstellung von Produktionsmitteln	51
3.6 Herstellung von Ersatzteilen durch 3D-Druckdienstleister	51

4	Produktimitationen aus dem 3D-Drucker	55
4.1	Produktpiraterie: Ein wachsendes Problem	55
4.2	Produktpiraterie und ihre wirtschaftlichen Folgen	56
4.3	Herstellung von Produktimitationen mit 3D-Druckern	56
4.4	Von Sklaven und Piraten: Die wichtigsten Begriffe	58
4.5	Technische Lösungen zur Bekämpfung von Produktimitationen	61
4.6	Bekämpfung unzulässiger 3D-Kopien mit rechtlichen Mitteln	63
4.6.1	So schützen Sie sich vor Nachahmern: Die gewerblichen Schutzrechte im Überblick	63
4.6.2	Von der Idee zum Druck: Was ist vor Nachahmern geschützt?	82
4.6.3	Welche Ansprüche kann man gegen den Verletzer geltend machen?	103
4.6.4	Von wem kann Unterlassung, Auskunft und Schadensersatz verlangt werden?	109
4.6.5	Abmahnern, aber richtig	122
4.6.6	Nach der Abmahnung: Einstweiliger Rechtsschutz und Klage	124
5	Ersatzteile und Zubehör aus dem 3D-Drucker	143
5.1	Additive Auftragsfertigung von Bauteilen und Ersatzteilen	143
5.2	Herstellung und Vertrieb alternativer Ersatzteile durch vom Originalhersteller nicht autorisierte Anbieter	145
5.2.1	Der Fall Lego	146
5.2.2	Originalersatzteile und Erstausrüsterqualität	148
6	Das sieht kein Druckerhersteller gerne: Alternatives Verbrauchsmaterial für 3D-Drucker	153
6.1	Günstige 3D-Drucker, teures Druckmaterial – das Rockefeller Prinzip	153
6.2	Kompatible Kartuschen, „Refilled“ oder „Refurbished“?!	155
6.3	Alternative Verbrauchsmaterialien: Kostensenkung oder Garantieverlust?	156
6.4	Kann die Herstellung und der Vertrieb kompatibler Kartuschen untersagt werden?	157
6.4.1	(Kein) Patentschutz gegen Trittbrettfahrer: Der Fall Nespresso	158
6.4.2	Patent- und Gebrauchsmusterschutz für Druckerkartuschen	160
6.4.3	Ist der Verkauf wieder befüllter Originalkartuschen zulässig?	161
6.4.4	Technische Schutzvorrichtungen und Rückgabepflichten	163
7	3D-Druck und Compliance	171
7.1	Pflichten des Herstellers nach dem Produktsicherheitsgesetz	171
7.2	Besondere, spezialgesetzlich geregelte Sicherheitsanforderungen	182
7.2.1	Implantate und andere Medizinprodukte	182
7.2.2	Kraftfahrzeug-Ersatzteile	190
7.3	Geprüfte Sicherheit	190
7.4	Die CE-Kennzeichnung	191
7.5	Die VDI-Richtlinien für additive Fertigungsverfahren	191

8 Die Katze in der Mikrowelle: Produkt- und Produzentenhaftung im 3D-Druck	195
8.1 Die Notwendigkeit einer Herstellerhaftung	195
8.2 Problemaufriss: Fragestellungen der Produkthaftung zur additiven Fertigung	199
8.3 Produkthaftung und Produzentenhaftung	203
8.4 Die Haftung nach dem ProdHaftG: ein Überblick	205
8.4.1 Das Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)	206
8.4.2 Der Begriff des Produkts im Produkthaftungsgesetz	207
8.4.3 Der Begriff des Herstellers	209
8.4.4 Der Quasi-Hersteller	219
8.4.5 Der Importeur	220
8.4.6 Der Lieferant	220
8.4.7 Der Problemfall Produktpiraterie	221
8.4.8 Die Verletzung eines Rechtsgutes	223
8.4.9 Der Begriff des Fehlers	224
8.4.10 Kein Verschuldenserfordernis	243
8.4.11 Rechtsfolgen der Haftung nach dem ProdHaftG	244
8.4.12 Der Ausschluss der Ersatzpflicht	249
8.4.13 Die Beweislast – oder von der Schwierigkeit, Verantwortungsbereiche abzugrenzen	250
8.5 Die Produzentenhaftung	253
8.5.1 Wofür wird gehaftet? Der Anwendungsbereich der Produzentenhaftung	254
8.5.2 Der Hersteller als Anspruchsgegner – und die Frage, wer noch in die Haftung geraten kann	255
8.5.3 Die schuldhafte Pflichtverletzung des Herstellers	258
8.5.4 Rechtsfolgen der Haftung	271
8.5.5 Fragen des Nachweises und der Beweislast	274
8.6 Die Haftung wegen der Verletzung eines Schutzgesetzes	276
8.7 Die Sanktionierung als Ordnungswidrigkeit oder Straftat	277
8.7.1 Die Sanktionierung von Unternehmen	278
8.7.2 Die strafrechtliche Verantwortung leitender Mitarbeiter des Unternehmens	280
Statt eines Nachworts: Wie Sie Produktpiraten das Leben schwer machen und mit 3D-Druck neue Kunden gewinnen	291
Abkürzungsverzeichnis	295
Technisches Glossar	299
Stichwortverzeichnis	307

Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks und der additiven Fertigungsverfahren

3D-Druck ist nur etwas für die Entwicklung von Prototypen und eignet sich allenfalls zur Herstellung einiger weniger ausgesuchter Produkte? Weit gefehlt. Der folgende Überblick zeigt anhand verschiedener Beispiele, wie additive Fertigungsverfahren schon heute in einer Reihe von Schlüsselindustrien eingesetzt werden. Wir wagen die Prognose, dass in nicht allzu ferner Zukunft fast jeder Verbraucher auf die eine oder andere Weise mit Produkten in Berührung kommen wird, die nicht mehr nach herkömmlichen Verfahren hergestellt wurden, sondern aus dem 3D-Drucker kommen. Das glauben Sie nicht? Dann lassen Sie sich in diesem Kapitel zeigen, was heute schon möglich ist und morgen möglich sein wird.

1.1 Einsatz von 3D-Druckern im Automobilbau

Wenn es um die Anwendung additiver Fertigungsverfahren im Automobilbau geht, wird meist von vermeintlich spektakulären „Autos aus dem 3D-Drucker“ berichtet und der Eindruck erweckt, dass wir bald alle solche Fahrzeuge fahren werden. Eines der ersten Projekte dieser Art war der „Urbee“ („Urban electric“), ein elektrisch und mit Ethanol betriebener PKW der in Winnipeg, USA beheimateten Firma KOR EcoLogic.¹ Tatsächlich wurde aber nicht das gesamte Fahrzeug, sondern lediglich die Karosserie additiv gefertigt. Viel Aufsehen erregte auch der „Strati“ der Firma Local Motors. Im Gegensatz zum „Urbee“ sollen tatsächlich sämtliche Teile des an einen Strandbuggy erinnernden Fahrzeugs mit Ausnahme der vom Renault Twizy² übernommenen mechanischen Komponenten wie Batterie, Motor und die Radaufhängung aus dem 3D-Drucker kommen.

Als Material soll ABS Kunststoff verwendet werden, der mittels Fused Deposition Modeling („FDM“, vgl. dazu noch im Einzelnen Kapitel 2) verarbeitet werden soll, wobei nicht die vorwiegend in 3D-Druckern für den Heimgebrauch verwendeten Kunststofffäden („Filamente“), sondern Pellets benutzt werden sollen, was mit erheblichen Kostenvorteilen verbunden sein wird. Die aktuelle Druckdauer für alle additiv gefertigten Teile soll von derzeit noch 44 Stunden auf 24 Stunden verkürzt werden und der Wagen 2016 erhältlich sein.³ Ähnlich wie bei Renaults *Twizy* ist die Spitzengeschwindigkeit des rahmenlosen PKW auf ca. 50 km/h beschränkt. Interessanter als die Fahrzeugleistungen ist aber der ehrgeizige Plan des Herstellers, in den nächsten 10 Jahren 100 Micro-Fabriken rund um den Globus zu errichten, in denen der „Strati“ hergestellt wird. Ob all das Realität wird, bleibt abzuwarten, innovativ ist der „Strati“ aber allemal.



Foto: Local Motors Inc.

Abb. 1: Eine Designstudie für den „Strati“ der Fa. Local Motors

Das in Palo Alto/USA von *Kevin Czing*er gegründete Unternehmen *Divergent Microfactories*⁴ verfolgt ebenfalls das Ziel, kleine Unternehmen in die Lage zu versetzen, Personenkraftwagen mittels additiver Fertigungstechnologien in lokalen Produktionsstätten herzustellen. Das erste eigene Produkt des jungen Unternehmens ist der „Blade“, ein Supersportwagen mit 700 PS und einem Leistungsgewicht von nur 635 Kilogramm.

Die erzielten Gewichtseinsparungen wurden erst durch die additive Fertigung von Aluminium-Verbindungsstücken möglich, in die die Carbon-Rohre gesteckt werden und so das Chassis bilden:⁵

Der Einsatz additiver Fertigungstechnologien im Automobilbau ist aber keineswegs nur ein Thema für Start-up Unternehmen. So werden in der BMW Group additive Fertigungsverfahren schon seit 1991 im Konzeptfahrzeugbau eingesetzt. Im Regensburger BMW Werk werden seit einigen Jahren *Stratasys* 3D-Drucker im Prototyping und zur Werkzeugherstellung genutzt. Mittels des in Kapitel 2 noch erläuterten *Fused Deposition Modeling (FDM)* Verfahrens konnten Gewichtseinsparungen von 72 % im Werkzeugbau erzielt werden. Die dabei verwendeten ABS Kunststoffe erfüllen die besonderen Anforderungen an Temperaturbeständigkeit, Passgenauigkeit und mechanische Belastbarkeit.⁶

In einem der von BMW bei der Deutschen Tourenwagen Meisterschaft (DTM) 2015 eingesetzten Motoren arbeitete bereits das 500. Wasserpumpenrad aus dem 3D-Drucker. Das hochbelastete Präzisionsbauteil besteht aus einer im SLM-Verfahren (*Selective Laser Melting*, dazu noch unten **Kapitel 2**) gefertigten Aluminiumlegierung und hat sich im harten Sporteinsatz bestens bewährt.



Foto: <http://www.divergentmicrofactories.com>

Abb. 2: Von 0 auf 100 km/h in zwei Sekunden – Der Blade von Divergent Microfactories



Foto: <http://www.divergentmicrofactories.com>

Abb. 3: Ein additiv gefertigtes Verbindungsstück für den Chassis-Aufbau wie es im „Blade“ zum Einsatz kommt

4 1 Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks

Ausfälle gab es keine, obwohl die Hochleistungsmotoren im Renneinsatz bis zu 70 Prozent unter Volllast laufen, und bewegte Bauteile hohen Belastungen standhalten müssen.



Foto: BMW AG

Abb. 4: Das Wasserpumpenrad aus dem 3D-Drucker

Auch Volkswagen fertigt im 3D-Druck Montagehilfsmittel, Motorhauben-Entriegelungen und Werkzeugteile und will künftig auch Sonderanfertigungen für Kunden additiv herstellen.⁷ Der fünftgrößte Automobilhersteller Ford nutzt additive Fertigungstechnologien ebenfalls in der Produktentwicklung und bietet seinen Kunden auf einer eigenen Internet-Plattform die Möglichkeit, sich 3D-Modelle aktueller Fahrzeuge wie etwa des Ford GT herunterzuladen oder ein fertig ausgedrucktes, maßstabsgetreues Modell zu bestellen.⁸

Die Handwerkskammer Oberfranken erforscht derzeit in ihrem staatlich geförderten Projekt „KFZ-Service-Engineering 2010“ mit Partnern aus der Industrie, wie die additive Fertigung in KFZ Werkstätten eingesetzt werden kann. Ziel ist es unter anderem, den Weg zur Fertigung von Ersatzteilen vor Ort in der Werkstatt zu ebnen und so Kosten bei der Autoreparatur einzusparen.⁹

1.2 Additive Fertigung in der Luft- und Raumfahrt

In der Luftfahrt ermöglicht der Einsatz additiver Fertigungstechnologien erhebliche Kosteneinsparungen. Nach einer aktuellen Studie kann durch Leichtbauteile aus dem 3D-Drucker das Gewicht von Flugzeugen erheblich reduziert

werden, das Gewicht eines additiv aus Titan gefertigten Kabinenhalters („Bracket“) beträgt dann statt rund 230 Gramm nur noch etwa 160 Gramm.¹⁰



Foto/Source: Airbus GmbH Hamburg

Abb. 5: Ein „Bracket“ aus dem Airbus A 350

Auch im Großraumflugzeug Airbus A 350 XWB sind additiv gefertigte Bauteile enthalten, die alle Anforderungen der internationalen Sicherheitsbestimmungen bezüglich Entflammbarkeit, Rauchdichte und Giftigkeit (FST) erfüllen.¹¹ Das dazu verwendete Material, Ultem 9085 der Firma *Stratasys* ist ein schwer entflammbarer Thermoplastischer Kunststoff, der trotz geringen Gewichts eine hohe Festigkeit aufweist.¹²

Die *MTU Aero Engines* fertigt seit Mai 2013 in München sog. Boroskopaugen für das Getriebefan-Triebwerk des Airbus A320neo mittels Laserschmelzverfahren (Selective Laser Melting = SLM) für die Serie. Dabei handelt es sich um Vorrichtungen am Gehäuse der Niederdruckturbine in die sog. Boroskope – ähnlich wie ein Endoskop – eingeführt werden können, um die Triebwerkschaufeln der Niederdruckturbine auf mögliche Abnutzungserscheinungen oder Defekte zu überprüfen. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein solches „Boroskopauge“, das auf vom Luftfahrtbundesamt zertifizierten 3D-Druckern aus einer Nickelbasislegierung hergestellt wurde.

Auch die Airline *easyjet* wird die Treibstoffdüsen, Turbinenschaufeln und Bauteile ihrer LEAP Triebwerke künftig aus keramischen Verbundwerkstoffen additiv fertigen lassen¹³ und die *Lufthansa AG* konnte durch die additive Fertigung des sog. Vakuum Generators, einer Unterdruckpumpe zur Herstellung eines statischen Druckunterschieds zwischen Kabine und Abwasserbehälter erhebliche Gewichtseinsparungen bei zugleich verbesserten Geometrien und



Foto: MTU Aero Engines

Abb. 6: Additiv hergestelltes Boroskopauge für die schnelllaufende Niederdruckturbine des Getriebefan-Triebwerks PurePower® PW1100G-JM im Airbus A320neo

Wandstärken erzielen. Die aus Polyamid gefertigte Pumpe ist zudem korrosionsbeständiger.¹⁴ Die *Rolls Royce plc* hat im Jahr 2015 ihr *Trent XWB-97*-Triebwerk für Verkehrsflugzeuge erstmals additiv aus einer Titanlegierung hergestellt und der Flugzeughersteller *Boeing* hat im selben Jahr ein Patent zur additiven Fertigung von Ersatzteilen für Flugzeuge angemeldet.¹⁵

Da die Luftfahrtindustrie nicht nur einem hohen Kostendruck unterliegt, sondern zugleich die höchsten Anforderungen an die Belastbarkeit und Verkehrssicherheit der in Flugzeugen verbauten Teile stellt, wird die Anzahl der additiv gefertigten Komponenten in diesem Industriesektor in den kommenden Jahren weiter steigen.

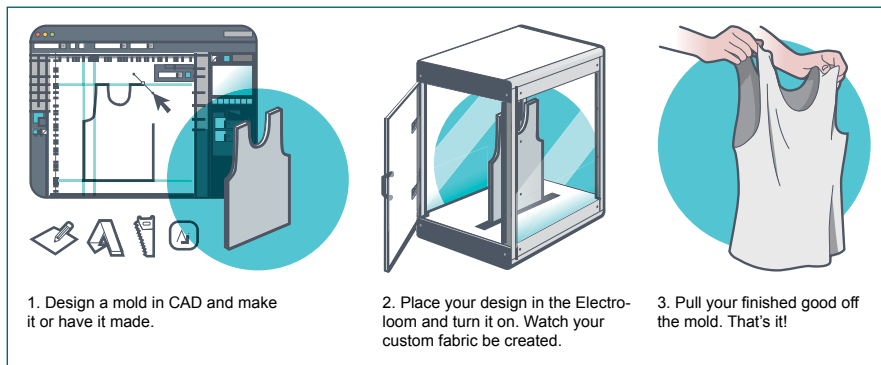
Für die Raumfahrt eröffnet die additive Fertigung erstmals die Möglichkeit, Ersatzteile während laufender Missionen herstellen zu können und somit nicht von einer – meist gar nicht möglichen – „Ersatzteillieferung“ abhängig zu sein. Im November 2014 wurde erstmals ein 3D-Drucker auf der internationalen Raumstation ISS in der Schwerelosigkeit erfolgreich getestet.¹⁶ Wie wir in **Kapitel 2** noch zeigen werden, gibt es zudem bereits Überlegungen, eines Tages unter Einsatz von 3D-Druck-Verfahren Forschungsstationen etwa auf dem Mars zu errichten.

1.3 Bekleidungs- und Textilindustrie

Vielleicht nicht das erste, aber doch das aufsehenerregendste Kleidungsstück, das bislang im 3D-Druck hergestellt wurde, war wohl das im Jahr 2013 von den Modeschöpfern Michael Schmidt und Francis Bitonti,¹⁷ geschaffene Abendkleid für Dita von Teese, das allerdings eine aus 17 Einzelteilen zusammengesetzte

Maßanfertigung darstellte und somit kein Serienprodukt war. Die erste additiv gefertigte Kollektion wurde sodann im Jahr 2014 nicht in Paris oder Mailand, sondern auf der Internationalen Automobilausstellung in Frankfurt von der Volkswagen AG präsentiert.

Bis zur Serienproduktion von Kleidungsstücken mag noch einige Zeit vergehen; ein Verfahren das 2015 unter der Bezeichnung „Field Guided Fabrication“ von einem amerikanischen Start-up Unternehmen vorgestellt wurde, könnte den 3D-Druck von Hemden und Röcken aber früher als gedacht Realität werden lassen. Diese Technik erlaubt die Herstellung nahtloser Kleidungsstücke mittels einer Polyester-Baumwollmischung, die auf eine Form gesprüht wird. Auch nach der Aushärtung muss nicht mehr zu Nadel und Faden oder Schere gegriffen werden, da die so gefertigten Kleidungsstücke keine Nachbearbeitung mehr erfordern.¹⁸



Infografik: <http://www.electroloom.com/>

Abb. 7: Kleidungsstücke aus dem Electroloom 3D-Drucker

In Zukunft soll auch die Farbe des Bekleidungsstücks vor Beginn des Druckvorgangs mit einem einfachen Tastendruck bzw. Mausklick ausgewählt werden können. Die Auslieferung der ersten 3D-Drucker für dieses Verfahren ist für das Frühjahr 2016 geplant, einfache Modelle sollen bereits ab 4.500 US Dollar erhältlich sein.¹⁹ Damit hat der 3D-Druck auch das Potenzial, die Art und Weise, wie Kleidung hergestellt und gekauft wird, grundlegend zu verändern: Statt der Anprobe im Laden und Kürzung von Hosenbeinen oder Ärmeln durch die Änderungsschneiderei erstellt der Kunde einen 3D-Scan mit seinen genauen Körpermaßen und bestellt das gewünschte Kleidungsstück online. Das fertige Kleidungsstück erhält er dann in der Regel innerhalb von 48 Stunden nach Hause geliefert und braucht sich keine Sorgen um die Passform zu machen.

Mit der additiven Fertigung von Textilien könnte in Zukunft auch ein Thema der Vergangenheit angehören, das bislang trotz aller Anstrengungen der Industrie noch nicht vollständig gelöst ist: das der sog. „sweat shops“, also Fabriken in Billiglohnländern, in denen unter oft gesundheitsgefährdenden Arbeitsbedingungen Bekleidung für Verbraucher in den westlichen Industrienationen hergestellt werden. Bei inzwischen marktüblichen Preisen von wenigen Euro für eine

Bluse oder ein ganzes Kleid stehen die Markenhersteller auch weiterhin vor der Herausforderung, hier Alternativen zu finden. Die additive Fertigung könnte einen Weg aus diesem Dilemma aufzeigen und den Verbrauchern zugleich die Realisierung eigener Designs zu geringen Kosten ermöglichen.

1.4 Wenn der Schuh nicht mehr drückt: 3D-Druck Sport- schuhe und High Heels

Die Schuhindustrie entdeckte den 3D-Druck schon im Jahr 2011 für sich.²⁰ Das verwundert auch nicht wenn man bedenkt, dass sich die Suche nach den richtigen Schuhen schwierig gestalten kann. Aus der Verlustzone wird der Online Versandhandel mit Schuhen wohl nur kommen, wenn es gelingt, die immer noch hohen Rücklaufquoten deutlich zu senken.²¹ Der 3D-Druck verspricht, auch diese Herausforderung zu bewältigen: Erstellt der Kunde vor der Aufgabe seiner Bestellung – etwa mit seinem Mobiltelefon²² – einen 3D-Scan von seinen Füßen, kann der Betreiber des virtuellen Schuhladens anhand des so erzeugten 3D-Modells einen Schuh fertigen, der über eine optimale Passform für den Besteller verfügt. Ein Schuh, der nicht drückt sondern einfach nur bequem ist und dennoch über ein ansprechendes Äußeres verfügt, wird dann sicherlich seltener zurückgesandt, als ein Modell, das dem Träger nicht recht passen will.

Das von dem US-amerikanischen Start Up *Pensar* entwickelte „DNA SHOE CONCEPT“²³ verfolgt die Vision eines maßgeschneiderten Schuhs, der von seinem Träger individuell konfiguriert werden kann. Grundlage für die Herstellung ist zunächst ein 3D-Scan von den Füßen des Kunden. In einem zweiten Schritt werden auf einem Testlauf des Kunden weitere Bewegungsdaten wie Auftritt, Pronation und Balance gesammelt. Der Kunde kann dann die Materialien, Farben und Oberflächen auswählen und die Herstellung seiner Schuhe im 3D-Drucker am „Point of Sale“ erleben.



Bild: Pensar Development (<http://pensardevelopment.com/>)

Abb. 8: Der DNA Schuh von Pensar

Auch wenn noch einige Zeit vergehen wird, bis diese Zukunftsvision zur Realität für Händler und Verbraucher wird, gibt es erste vielversprechende Ansätze. So fertigt der Sportartikelhersteller Adidas bereits Teile seiner Prototypen von Fußballschuhen auf einem 3D-Drucker²⁴ und der Wettbewerber Nike setzt die in Kapitel 2 noch genauer erläuterte Technik des Selektiven Lasersinterns (SLS) in der Herstellung der Laufsohlen für seinen „Vapor Laser Talon“ Fußballschuh ein.²⁵

Auch die Designerin Neta Soreq hat mit einem 3D-Drucker Schuhe geschaffen, die es kein zweites Mal gibt. Das ebenso ästhetische wie ungewöhnliche Design wurde von Therapie-Verfahren für hyperaktive Menschen und der natürlichen Bewegung des Fußes inspiriert:



Foto: Daphna Rennert

Abb. 9: Schuhe der Designerin Neta Soreq

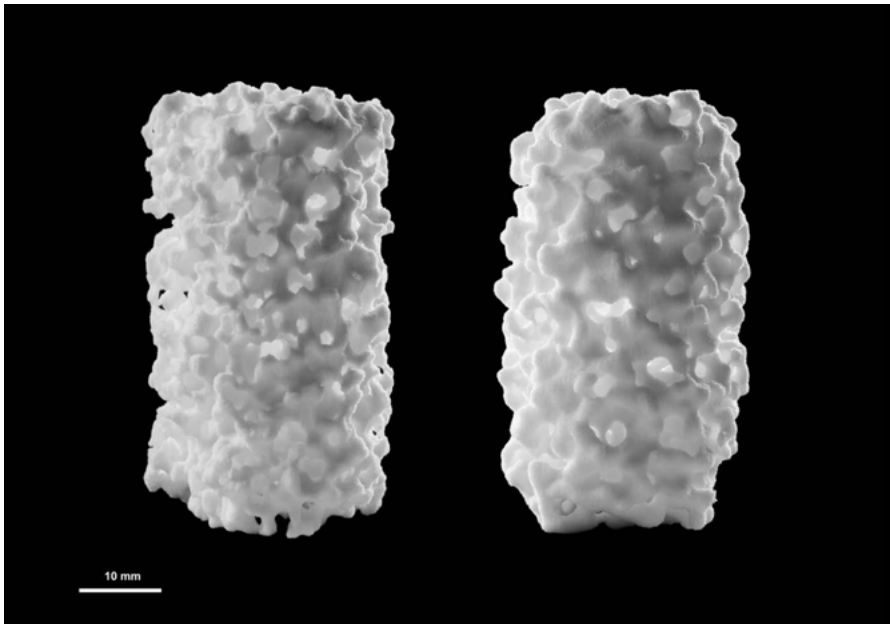
1.5 3D-Druck in der Medizin: Bioprinting, Implantate und Orthopädie

Der noch jungen Bioprinting Industrie wird eine große Zukunft vorausgesagt. Im Jahr 2014 hat sie bereits 537 Millionen US-Dollar mit der Herstellung von Organen im 3D-Druck erwirtschaftet.²⁶ In der Medizin bietet der 3D-Druck nicht nur eine Vielzahl praktischer Anwendungsmöglichkeiten, sondern kann sogar lebensrettend sein.

Die Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung in Berlin hat ein Knochenersatzgerüst aus Keramik entwickelt, das zu 60 % aus Poren besteht, und

ungeachtet des geringen Gewichts über eine hohe Festigkeit verfügt. Die poröse Struktur ermöglicht den Zellen in den Körper hineinzuwachsen und das Material kann vom Körper selbst abgebaut werden, wenn es seinen Zweck erfüllt hat.

Als Vorbild für das Design diente die Natur: Schwämme und Hirschgeweihe weisen eine ähnliche Struktur auf. In Zukunft wird es mit diesem Material möglich sein, im OP einen 3D-Scan von einem gebrochenen Knochen zu erstellen und das keramische „Ersatzteil“ sogleich auf einem 3D-Drucker auszudrucken.



*Abb. 10: Knochenersatz aus dem 3D-Drucker (Präkeramisches Polymer, 3D-Schwämme aus PMMA (Polymethylmethacrylat bei 3D-Drucken).
© BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung*

Additive Fertigungsverfahren erlauben auch die Herstellung individuell an den Patienten angepasster Stützgerüste zur Entlastung der Halswirbelsäule (sog. „Orthesen“) bei Verletzungen.

Hierzu wird unter Mitwirkung des behandelnden Arztes aus dem ohnehin vorliegenden CT-Datensatz des Patienten ein Orthesendesign abgeleitet und der Produktionsauftrag an ein lokales additives Fertigungszentrum gesandt. Der Patient erhält dann innerhalb von 2–3 Tagen seine individuelle Orthese. Durch die optimale Passung und Berücksichtigung von patientenspezifischen Faktoren wie z. B. Osteoporose, Bettlägerigkeit oder einem Tracheostoma (operative Öffnung der Luftröhre) wird erreicht, dass auch nach wochenlanger Tragedauer keine Läsionen und Druckstellen entstehen.



Abb. 11: Eine additiv gefertigte Orthese (Design: Lehrstuhl für Industrial Design, TU München Foto: www.mecuris.com)

Auch im Dentalbereich bietet der 3D-Druck im Vergleich zur konventionellen Herstellung eine Reihe von Vorteilen. So lässt sich mit der additiven Fertigung erheblich Zeit einsparen, da das Design des Modellgusses für Zahnersatz in 15 Minuten erstellt werden kann. Innerhalb von 24 Stunden können circa 48 Einheiten gebaut werden. Zudem ist die Konstruktionsfreiheit der Modellierungssoftware nicht durch das Fertigungsverfahren beschränkt, sodass hoch belastbare, starre und dennoch filigrane Geometrien hergestellt werden können und unerwünschte Hohlräume im Inneren oder Einbeulungen an dessen Oberfläche (sog. „Lunker“) wie sie sonst gerne auftreten, vermieden werden können. Hinzu kommt, dass so gefertigter Zahnersatz auch eine höhere Festigkeit aufweist als Zahnersatz, der auf herkömmlichem Weg angefertigt wurde. Additiv gefertigter Zahnersatz ist meist kostengünstiger als mittels Feinguss und Frästechnik hergestellter, verfügt über eine homogene metallische Struktur, hohe Präzision, gute Passung sowie konstante Qualität, gleichbleibende Toleranzen und reproduzierbare Produkteigenschaften. Er lässt sich gut fräsen und kann mit einer breiten Auswahl unterschiedlicher Keramikmaterialien verblendet werden.

Zu den Implantaten, die heute schon mittels 3D-Druckverfahren gefertigt werden, zählen auch Wirbelsäulenkäfige, die bei einem Bruch der Wirbelsäule die Stützfunktion des Knochens übernehmen.²⁷ Die Käfige können dank additiver Fertigung individuell an die Wirbelsäule des Patienten angepasst werden und nun auch aus einem elastischen und anti-allergenem Kunststoff (Polyetheretherketone, kurz „PEEK“) hergestellt werden.

Eine der größten Herausforderungen ist sicherlich die additive Fertigung von Organen. Im Jahr 2014 haben Forscher der Princeton University und der Johns Hopkins University/USA ein mittels 3D-Druck erzeugtes, „bionisches“ Ohr vorgestellt.²⁸



Foto: eos (<http://www.eos.info/>)

Abb. 12: eine additiv gefertigte Zahnbrücke



Foto: Frank Wojciechowski

Abb. 13: Das bionische Ohr aus dem 3D-Drucker

Als Druckmaterial wurde ein Hydrogel mit Polymer aus Silber-Nanopartikeln verwendet, was die In-vitro Kultivierung von Knorpelgewebe erlaubte, das eine induktive Antenne aufnehmen konnte.

Ein weiteres Beispiel für die Anwendungsmöglichkeiten des 3D-Drucks in der Medizin ist der 3D-Druck von Knochen mit eigenen Blutgefäßen, der gegenwärtig an der Universität Freiburg erforscht wird.²⁹ Wie schon bei dem Druck eines bionischen Ohrs sollen hierzu als Druckmaterial Hydrogele verwendet werden, die mit menschlichen Stammzellen verbunden werden. Die Forscher um Prof.

Dr. Günter Finkenzeller wollen dazu zunächst einen 3D-Drucker entwickeln, mit dem sog. Osteoblasten, also Knochen aufbauende Zellen und Endothel Zellen gedruckt werden, die die Blutgefäße auskleiden.³⁰

Viele Bioprinting Projekte sind langfristig angelegt und die meisten Ergebnisse gehen noch nicht über ein erstes „Proof of Concept“ hinaus. Der 3D-Druck könnte es aber in nicht allzu ferner Zukunft möglich machen, autologe, also vom Patienten selbst stammende Zellen zur Herstellung von Organen für die Transplantationsmedizin zu nutzen. Damit würde nicht nur die Wartezeit auf ein neues Organ erheblich verkürzt, sondern auch die Einnahme bei der Transplantation von Spenderorganen unverzichtbarer Immunsuppressiva zur Kontrolle der Abstoßungsreaktionen überflüssig. Bedenkt man, dass Lebergewebe schon heute für Arzneimittelreaktionstests additiv erzeugt wird³¹ und inzwischen entscheidende Erfolge bei der Verstärkung von Hydrogel durch

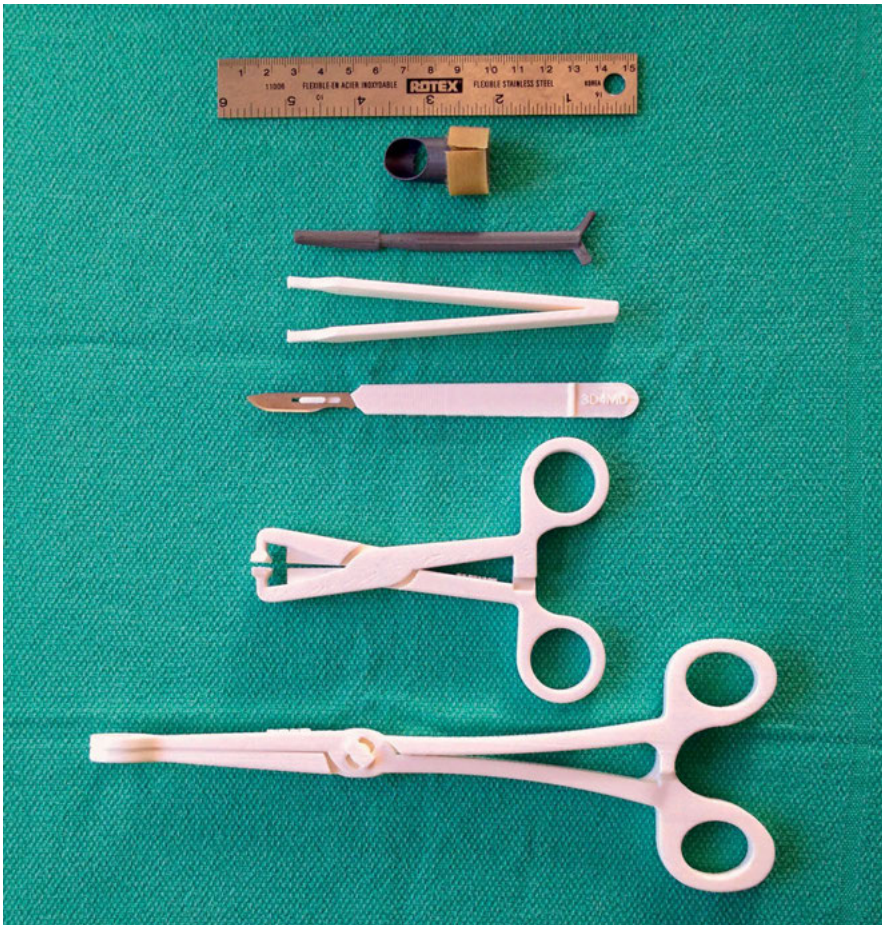


Foto: Julielynn Wong, M.D. (www.3d4md.com)

Abb. 14: Additiv gefertigte Chirurgische Werkzeuge und orthopädische Schiene von Julielynn Wong, M.D.

Zellträgern aus dem 3D-Drucker erzielt wurden,³² besteht die berechnete Erwartung, dass in den nächsten Jahren weitere Fortschritte auf dem Weg zum Organ aus dem 3D-Drucker erzielt werden.

Manchmal fehlt es aber auch schon an grundlegenden Werkzeugen und Medizinprodukten zur (Erst-)Versorgung von Patienten in entlegenen Regionen. Auch hier schafft die additive Fertigung Abhilfe: Abbildung 14 zeigt (von oben nach unten) eine orthopädische Schiene, ein Dentalwerkzeug, eine Pinzette, einen Skalpellgriff mit Klinge, eine Tuchklemme und einen Tupferhalter, die aus ABS Kunststoff auf einem 3D-Drucker hergestellt werden können.

Damit kann künftig auch auf Raumfahrt-Missionen (etwa zum Mars) eine medizinische Versorgung gewährleistet werden.³³

1.6 3D-Druck in der Möbelindustrie

Die Möbelbranche gehört zu den Industrien, auf die sich die Nutzung additiver Fertigungstechnologien besonders „disruptiv“ auswirken kann. Wer schon einmal Möbel bestellt hat, die nicht aus Schweden stammen, weiß, dass meist viele Wochen oder sogar Monate verstreichen, bis das ersehnte Stück im eigenen Haus steht. Produziert und ausgeliefert wird nicht auf Bestellung einzelner



Foto: Materialise (<http://www.materialise.de/>)

Abb. 15: Ein additiv gefertigtes Gerüst aus einem Holzwerkstoff

Kunden, sondern aus Kostengründen erst dann, wenn eine Mindestanzahl von Bestellungen für ein bestimmtes Möbelstück vorliegt. Die Auswahl moderner Möbel mit gutem Design zu Preisen, die sich Normalverdiener mit Familie leisten können, ist zudem begrenzt, sodass sich die Einrichtung vieler deutscher Wohnzimmer nicht sonderlich voneinander unterscheidet.

All das kann sich durch den 3D-Druck in absehbarer Zeit ändern. Bislang standen dem 3D-Druck in der Möbelherstellung vor allem zwei Hindernisse entgegen: Größenrestriktionen und Materialbeschränkungen. Wie groß ein Werkstück dreidimensional „gedruckt“ werden kann, entscheidet die Druckergröße. Als Druckmaterial wurden bis vor nicht allzu langer Zeit noch fast durchweg Kunststoffe verwendet. Beide Hürden sind allerdings dabei zu fallen. So bietet das in Belgien ansässige Unternehmen *Materialise* seit dem Sommer 2015 die Fertigung von Objekten mittels Selektivem Lasersintering (SLS, dazu näheres in Kapitel 2) aus einem Holzwerkstoff an.³⁴

Das französische Start Up Unternehmen *Drawn* hat eigens für die Herstellung individueller Möbel auf Kundenwunsch einen 3D-Drucker mit einer Grundfläche von 12 m² entwickelt und kann damit ganze Stühle ausdrucken. Auch wenn dafür momentan noch überwiegend ABS-Kunststoff als Druckmaterial verwendet wird, stehen die Möbel aus dem 3D-Drucker mit einer Belastbarkeit von bis zu 300 kg herkömmlich gefertigten und montierten Möbeln in der Stabilität in nichts nach. Der finnische Designer *Jane Kyttanen* hat mit einem ProX 950 SLA 3D-Drucker von 3D-Systems ein 1,5 Meter langes Sofa hergestellt, das bis zu 100 kg Gewicht tragen kann und dabei nur 2,5 Kilogramm wiegt.³⁵



Foto und Design: Jane Kyttanen (www.janeykittanen.com)

Abb. 16: Das Sofa „so good“ von Jane Kyttanen

1.7 3D-Druck in der Architektur

Spricht man über additive Fertigung im Hausbau, fällt meist der Name des italienischen Ingenieurs **Enrico Dini**³⁶, der 2006 einen 3D-Drucker entwickelte, mit dem unter Verwendung von Sand und Wasser Gebäude hergestellt werden können. Das von Prof. Behrokh Khoshnevis an der University of Southern California (USC) für den Hausbau entwickelte „Contour Crafting“ Verfahren wird in Kapitel 2 noch im Detail vorgestellt.

In der chinesischen Stadt Suzhou in der Nähe von Shanghai wurde mit einem 3D-Drucker, der über ein Druckbett von über 370 Quadratmetern verfügen soll, bereits eine Villa mit einer Wohnfläche von über 1000 m² Wohnfläche erstellt. Als Druckmaterial wurde wiederaufbereiteter Beton verwendet.³⁷

Man muss freilich nicht nach China oder in die USA fliegen, um den Einsatz additiver Fertigungsverfahren in der Architektur zu erleben. In Amsterdam wurden im Sommer 2015 gleich zwei Bauprojekte gestartet, die sich den 3D-Druck zunutze machen. Dort haben DUS architects direkt an den Grachten³⁸ zwei 3D-Drucker aufgestellt, den „Kamermaker 1.0“ und „Kamermaker 2.0“, mit denen die moderne Variante eines Grachtenhauses, das **„3D-Print Canal House“** errichtet wird.³⁹ Als Druckmaterial wird Makromelt, ein von Henkel entwickelter Biokunststoff verwendet, der zu 80 % aus Pflanzenöl hergestellt wird und seinen Schmelzpunkt bei 170° Celsius erreicht.⁴⁰ Der „Kamermaker 2.0“ verfügt über ein integriertes Trockensystem und kann deshalb dreimal so schnell und mit höherer Genauigkeit drucken als die erste Gerätegeneration.



mit freundlicher Genehmigung der MX3D B.V.

Abb. 17: Eine CGI Simulation der Grachtenbrücke von MX3D

Das Start Up Unternehmen *MX3D* plant unterdessen die **Errichtung einer Grachtenbrücke** in Zusammenarbeit mit der Stadt Amsterdam, der TU Delft sowie weiteren Partnern aus verschiedenen Industriesektoren. Die von dem niederländischen Designer *Joris Laarman* entworfene Brücke wird von zwei Industrierobotern errichtet, die auf sechs Achsen frei bewegt werden können und somit nicht mehr den Beschränkungen eines Druckergehäuses und einer vorgegebenen Druckplattform unterliegen.

Der Baubeginn erfolgte im September 2015, der Baufortschritt kann auf der Projektwebsite mitverfolgt werden.⁴¹

Kann die Druckgeschwindigkeit weiter gesteigert werden und ist die Einhaltung aller Baunormen und sonstigen Anforderungen sichergestellt, kann der 3D-Druck auch die Baubranche revolutionieren. Wenn Häuser direkt auf der „Baustelle“ innerhalb von wenigen Tagen mittels 3D-Druck und Robotik errichtet werden und als Druckmaterial wiederverwendbare Werkstoffe zum Einsatz gelangen, wird dies die Arbeit von Architekten, Statikern und den bauausführenden Unternehmen grundlegend verändern.

1.8 Spielwaren und 3D-Druck im Schulunterricht

Der 3D-Druck entwickelt sich in der Spielwarenindustrie zunehmend zu einem Schlüsseltrend. Auf der 3D-Druck-Plattform *shapeways*⁴² wurden im Juni 2015 über 6000 Spielwaren angeboten und führende Spielwarenanbieter sind inzwischen Partnerschaften mit 3D-Druck-Dienstleistern eingegangen. Die US-amerikanische Kette „*Toys „R“ Us*“ kooperiert seit Ende 2014 mit dem Start-Up Unternehmen *piecemaker*⁴³ und bietet in einer Pilotphase Kindern die Möglichkeit, in ihren Ladengeschäften ihr eigenes Spielzeug zu gestalten und vor Ort auf 3D-Druckern auszugeben. Vom Druckbefehl bis zum fertigen Spielzeug vergehen höchstens 25 Minuten, einfache Produkte werden in 5 Minuten gedruckt und die Preise sind mit US \$ 4.99 bis 12.99 recht moderat. Die „3D toy printing kiosks“ sind so gestaltet, dass sie von Kindern leicht zu bedienen sind und es keiner Anleitung durch Ladenangestellte bedarf.⁴⁴ Auch auf der Spielwarenmesse 2015 in Nürnberg waren 3D-Drucker der meistbeachtete Trend.⁴⁵

Wer bereits über einen 3D-Drucker verfügt, kann auf der Website *www.toyfabb.com* in verschiedenen Kategorien wie Tierfiguren, Spielzeugautos oder Bausätze ein Produkt auswählen und sich die Druckvorlage herunterladen. Eltern, die noch keinen 3D-Drucker besitzen, können die Druckvorlage an einen Dienstleister weiterleiten und meist schon am nächsten Tag das gewünschte Spielzeug in Empfang nehmen.

Die Verfügbarkeit einer Vielzahl von 3D-Druckvorlagen für Spielzeug hat inzwischen freilich auch dazu geführt, dass Fans bekannter Fernsehserien oder Filme auf den einschlägigen Plattformen eigene 3D-Modelle hochladen und zum Verkauf anbieten ohne die Zustimmung der Inhaber der Merchandisingrechte eingeholt zu haben.⁴⁶ Der durch seine Action-Figuren bekannt gewordene Spielzeughersteller *Hasbro* hat aus diesem Problem eine Tugend gemacht

und ein neues Geschäftsmodell entwickelt: Statt die Rechtsverletzer zu verklagen, hat Hasbro mit *shapeways* eine eigene Internet-Plattform errichtet, auf der unter anderem von verschiedenen Designern geschaffene „My Little Pony“ Figuren angeboten werden. Die Figuren werden auf Kundenbestellung mittels 3D-Druck hergestellt und sodann direkt an den Kunden versandt.⁴⁷

Dass 3D-Drucker auch zu Unterrichtszwecken eingesetzt werden können, zeigt ein Projekt des Start-Up Unternehmens *Leapfrog*, das in Zusammenarbeit mit Schulen in den Niederlanden 3D-Drucker in die Klassenzimmer bringt und die Erstellung von 3D-Modellen sowie die Vermittlung kreativen und technischen Hintergrundwissens zum Bestandteil des Unterrichtsplans macht.⁴⁸ Es wäre sicherlich zu begrüßen, wenn solche Initiativen auch bald in deutsche Schulen Einzug hielten, denn dann könnten Mädchen und Jungen schon früh an den 3D-Druck herangeführt und praktisches Wissen vermittelt werden, das bei der späteren Studien- und Berufswahl wichtige Impulse geben kann.

1.9 Kunst

Das „3D VirtualMuseum“ von *Sofia Menconero* und *Giulio Bigliardi* ermöglicht den Download von fast 100 verschiedenen 3D-Modellen, die von der etruskischen Urne über Büsten bis zu Sarkophag- und Grabsteinfragmenten aus vier verschiedenen Museen reichen.⁴⁹ Durch die Verwendung von Materialmischungen aus Keramik und Marmor können im 3D-Druck Reproduktionen erzeugt werden, die einen genauen Eindruck von der Oberflächenstruktur der Originale vermitteln und so jedermann einen neuen Zugang zu Kunstwerken verschaffen.

In der sogenannten „Bildenden Kunst“⁵⁰ ermöglicht der 3D-Druck zudem Werke, die mit anderen Verfahren oder traditionellen handwerklichen Techniken bislang nicht geschaffen werden konnten. Der Künstler und Unternehmer **Josh Harker**⁵¹ war einer der ersten, der mit 3D-Druckern seine Vorstellungen realisieren konnte und zählt heute zu den bekanntesten Vertretern im Bereich der Nutzung additiver Techniken zur Schaffung innovativer Kunstwerke. Dabei verfolgt er die Absicht, die „Architektur der Phantasie“ zu erforschen und ihr eine Form zu geben.⁵² Neben anderen Werken stehen dafür die von ihm geschaffenen Bronze- und Polyamid-Plastiken der „Tangle Sculpture Series“, die besonders komplexe Strukturen aufweisen⁵³:

Die von dem belgischen Künstler *Nick Ervinck*⁵⁴ mittels 3D-Druck geschaffene Skulptur *AGRIEBORZ* entstand nach Gesprächen des Künstlers mit Prof. Pierre Delaere und Koen van Laere, die an der medizinischen Fakultät der Katholischen Universität Leuven forschen. Zur Erstellung der zunächst zweidimensionalen Variante ließ sich der Künstler von anatomischen Darstellungen des menschlichen Kehlkopfes inspirieren, die er zu einem Cyborg ganz eigener Art formte, die 2015 auf der Rapid.Tech Messe in Erfurt⁵⁵ und im Museum der bildenden Künste, Brüssel⁵⁶ gezeigt wurde:



Foto: Luc Dewaele

Abb. 18: AGRIEBORZ, 2009-2011 von Nick Ervinck, SLS 3D print 53 x 34 x 33 cm; 20.9 x 13.4 x 13 inches



Foto: Luc Dewaele

Abb. 19: IKRAUSIM von Nick Ervinck, SLS 3D print; 60 x 46 x 35 cm; 23.6 x 18.1 x 13.8 inches

1.10 Lebensmittel

Obwohl Kochshows im Fernsehen immer noch Millionen Zuschauer zum Einschalten bewegen, kochen diese beileibe nicht alle täglich selbst. Wie eine aktuelle Studie ergeben hat, greifen vier von zehn Menschen ein- bis zweimal pro Woche zu Fertiggerichten.⁵⁷ Kochen wird von immer mehr Verbrauchern als lästige Arbeit empfunden und nach einem langen Arbeitstag fehlt auch oft schlicht die Zeit. Nicht zuletzt seit dem Pferdefleischskandal im Frühjahr 2013 und den Warnungen der Verbraucherzentralen vor der Übertragung von Weichmachern und unbekannten chemischen Verbindungen aus Kunststoffverpackungen für sogenannte „convenience“ Produkte⁵⁸ ist mancher aber doch ins Grübeln geraten. Fertiggerichte in Dosen kauft nur noch rund ein Drittel der deutschen Haushalte.⁵⁹ Dem Zeitmangel ist es wohl auch zu verdanken, dass immer neue Küchenmaschinen auf den Markt kommen,⁶⁰ die dem Verbraucher die automatische Zubereitung verschiedenster Gerichte versprechen, dabei aber unterschiedliche Stärken und Schwächen aufweisen. Bei manchen Maschinen müssen erst Zubehörteile angebaut werden, bevor es losgehen kann, viele erfordern ein mehrfaches Eingreifen des Benutzers in die Zubereitung von Speisen und sind in der Bedienung komplex.

Angesichts dieser Situation ist die Herstellung von Lebensmitteln bis hin zu ganzen Mahlzeiten mittels 3D-Druck nur logisch konsequent und ein durchaus vielversprechender Ansatz zur Sicherstellung einer gesünderen Ernährung. Wer bei Lebensmitteln aus dem 3D-Drucker an unappetitlichen Brei aus der Druckerdüse denkt, verkennt nämlich die Möglichkeiten dieser Technologie bei weitem. Die angekündigten oder bereits erhältlichen Geräte wenden sich an unterschiedliche Zielgruppen und lassen sich im Wesentlichen in drei Kategorien einteilen:

Universell einsetzbare 3D-Drucker für Haushalt und Gastronomie



Foto: Bocusini by Print2Taste, 2015

Abb. 20: 3D-Druck eines Desserts mit dem „bocusini“

Vergleichsweise neu sind 3D-Drucker, mit denen sich eine Vielzahl unterschiedlicher Mahlzeiten im Privathaushalt herstellen lassen. Ein Vertreter dieser Gattung ist der auf der 3D-Druck Messe in Erfurt 2015 prämierte „Bocusini“ 3D-Drucker des deutschen Start-Ups *Print2Taste*, der mit vom Hersteller bereits befüllten Kartuschen bestückt wird und ohne technische Vorkenntnisse eingesetzt werden kann.⁶¹ Die Bandbreite der angebotenen Lebensmittelmischungen soll künftig von Marzipan und Schokolade über Obst und Gemüse bis zu Molkereiprodukten und Pastateig reichen. Ausgedruckt werden können sowohl eigene Kreationen als auch Vorlagen, die auf einer eigenen Community Plattform im Internet zum Download angeboten werden und per Smartphone an den Drucker übermittelt werden können.⁶²

Der von Natural Machines entwickelte *Foodini* 3D-Drucker⁶³ beruht auf einem offenen Modell und erlaubt die Verwendung leerer, wiederverwendbarer Kartuschen, die der Benutzer selbst befüllen kann.⁶⁴ Der Drucker verfügt über bis zu 5 verschiedene Düsen und soll im 1. Quartal 2016 für etwa EUR 1.500,- im Handel erhältlich sein. Die Druckzeiten werden nach Herstellerangabe je nach Komplexitätsgrad und ausgedruckten Mengen zwischen wenigen Minuten bis zu 20 Minuten für aufwendige Patisserie-Modelle betragen. Der Druck einer

Pizza nimmt deutlich weniger Zeit in Anspruch, da das Gerät den Teig selbsttätig ausdrückt und auch gleich die Tomatensoße darauf verteilt; lediglich der Belag muss dann noch von Hand erfolgen:



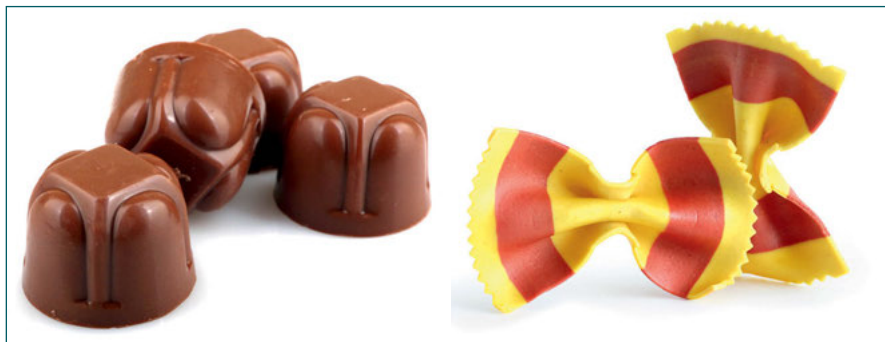
Fotos: Natural machines (<https://www.naturalmachines.com/>)

Abb. 21: Herstellung einer Pizza mit dem Foodini 3D-Drucker

Neben der Zeitersparnis haben diese Drucker den Vorteil, dass sie den Benutzer in die Lage versetzen, unterschiedlichste Gerichte, Desserts oder Knabberwaren für den Fernsehabend herzustellen, die keine der häufig anzutreffenden Geschmacksverstärker, Konservierungsstoffe und/oder Zusatzstoffe enthalten. Hiervon profitiert nicht zuletzt die zunehmende Zahl der Allergiker und von Lebensmittelunverträglichkeiten Betroffenen.

Lebensmitteldrucker für spezielle Anwendungsbereiche

Neben den in der Lebensmittelherstellung universell einsetzbaren Geräten wurden bereits auf der CES 2015⁶⁵ 3D-Drucker vorgestellt, die ausschließlich Schokolade und andere Süßwaren drucken. Der „Chefjet Pro“ von 3D-Systems druckt mit Zucker, der mit Wasser gebunden wird und kann komplexe Objekte in Millionen RGB Farben erzeugen. Das *Culinary Institute of America* („CIA“, nicht zu verwechseln mit dem bekannten Geheimdienst) setzt den „Chefjet Pro“ bereits in der Ausbildung von Pâtissiers ein.⁶⁶ Mit dem ebenfalls von 3D-Systems entwickelten „Cocojet“ 3D-Drucker will der größte nordamerikanische Schokoladenhersteller *Hersheys* schon bald den Druck individueller Pralinen ermöglichen.⁶⁷



Fotos: www.colourbox.de

Abb. 22: Pralinen und Pasta – bald auch aus dem 3D-Drucker

Auch der italienische Teigwarenhersteller *Barilla* hat schon vor Jahren mit der Entwicklung eines 3D-Druckers begonnen, mit dem Privathaushalte Nudeln drucken können. Der 2015 auf der Weltausstellung in Mailand vorgestellte Prototyp lässt die Herstellung einer Vielzahl individueller Pasta-Varianten zu und druckt einen Teller Nudeln in zwei Minuten aus.⁶⁸ Da die Pasta aus denselben Zutaten besteht wie handgemachte Pasta, dürfte sie auch den geschmacklichen Erwartungen entsprechen, wenn der Drucker auf den Markt kommt.

Das Unternehmen „Modern Meadow“ mit Sitz in Brooklyn, New York, geht noch einen Schritt weiter und will mittels 3D-Druck „Steak Chips“ aus im Labor kultiviertem Tierfleisch herstellen. Hinter dem Unternehmen steht der Gründer des Bioprint Pioniers *Organovo*, *Andras Forgacs*. Die Herstellungskosten sind derzeit noch prohibitiv hoch, da ein halbes Kilo „Steak Chips“ mehrere tausend Dollar kostet, soll aber drastisch sinken, wenn größere Mengen erzeugt werden. An das Zukunftspotenzial der Steak Chips aus dem 3D-Drucker glaubt auch Justin Rockefeller, der Urenkel des Standard Oil Gründers John D. Rockefeller der schon in das Unternehmen investiert hat.⁶⁹

Schließlich eröffnen 3D-Drucker neue Möglichkeiten auch für die Ernährung von Patienten, die an Schluck- und Kaustörungen (Dysphagie) leiden⁷⁰ und für die Ernährung alter Menschen, die wegen des Zustands ihrer Zähne sonst nur pürierte Mahlzeiten zu sich nehmen können. Die Firma Biozoon aus Bremerhaven etwa bietet schon länger sog. „Smoothfood“ für Altenheimbewohner an und kann nach eigenen Angaben bereits 80 % aller Lebensmittel mittels Gelierung so aufbereiten, dass sie nicht mehr gekaut werden müssen, aber dennoch geschmacklich dem Original entsprechen. Die Herstellung ist allerdings sehr aufwändig, sodass die Gerichte bislang nur in überschaubaren Stückzahlen angeboten werden konnten. Das soll sich schon 2016 ändern, wenn die Mahlzeiten aus dem 3D-Drucker kommen.⁷¹