



# SCHRIFTENREIHE 3D@KMU

Herausgeber:

Prof. Dr. Heiko Wenzel-Schinzer

ARBEITSBERICHT 12

BEST PRACTICE GUIDE 3D-DRUCK:

**Version 1.0: Branchenbezogene Anwendungsbeispiele**

Alexandra Fiedler & Viktoria Taslitsky

Die Anwendungsmöglichkeiten von 3D-Druck sind inzwischen so vielfältig, dass es für thematische „Neueinsteiger“ und Interessierte schwer überschaubar ist. Dieser Bericht gibt Aufschluss über die aktuellen Best Practices der jeweiligen Branchen. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Dezember 2016 bis Februar 2017.

Merseburg, Februar 2017

## Inhalt

Abkürzungsverzeichnis .....	3
1. Einleitung .....	4
2. Branchen .....	5
2.1. Luft- und Raumfahrt .....	8
2.2. Automobilindustrie .....	11
2.3. Maschinenbauindustrie .....	14
2.4. Medizin / Zahnmedizin .....	17
2.5. Bioprinting .....	19
2.6. Konsumgüter / Kunst und Design .....	22
2.7. Architektur .....	25
2.8. Rüstungsindustrie .....	28
2.9. Forschung und Entwicklung .....	31
3. Fazit .....	33
Literaturverzeichnis .....	34

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

2PP 2-Photonen-Polymerisation

3DP 3D-Printing

FDM Fused Deposition Modeling

LCM Lithography-based Ceramic Manufacturing

LOM Laminated Object Modeling

PJM Polyjet Modeling

SLA Stereolithografie

SLM Selective Laser Melting (Laserschmelzen)

SLS Selektives Lasersintern

## 1. EINLEITUNG

Aktuelle Studien zeigen 3D-Druck kommt inzwischen in den verschiedensten Branchen zum Einsatz. Begründet ist das auf der Tatsache, dass die Reife der Technologie zugenommen hat: Mithilfe des 3D-Drucks können nicht mehr nur Prototypen gefertigt werden, sondern längst auch einsatzbereite Endprodukte. Gleichzeitig traten, getrieben durch auslaufende Patente, neue Anbieter auf den Markt, was zu einer positiven Preisentwicklung aus Sicht der Kunden und zu einer permanenten Weiterentwicklung der Technologie führt. Nachfolgende Grafik bestätigt diese Aussage, so ist alleine von 2012 zu 2013 die Zahl der veröffentlichten Patente um über 50 % gestiegen.

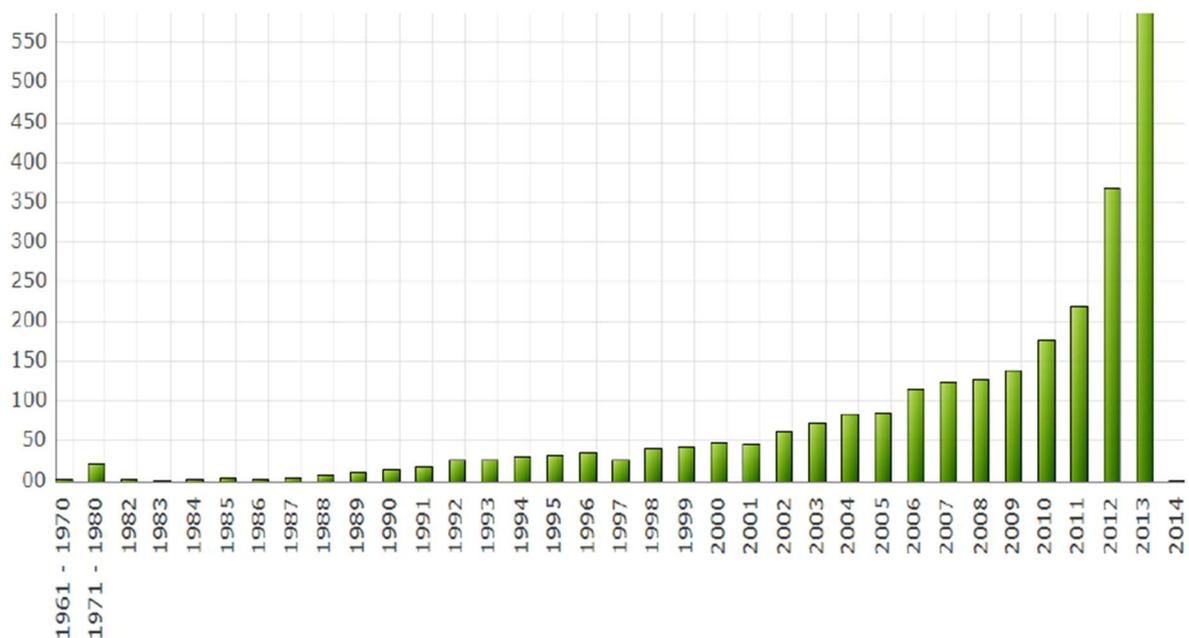


Abbildung 1: Veröffentlichte Patente weltweit Additive Manufacturing (Patent iNSIGHT Pro, 2014)

Die Anwendungsmöglichkeiten von 3D-Druck sind inzwischen so vielfältig, dass es für thematische „Neueinsteiger“ und Interessierte schwer überschaubar ist. Dieser Bericht gibt Aufschluss über die aktuellen Best Practices der jeweiligen Branchen.

## 2. BRANCHEN

Die Luft- und Raumfahrtindustrie, die Automobilindustrie und die Medizintechnik sind die Branchen, in welchen 3D-Druck bereits seit vielen Jahren erfolgreich zur Anwendung kommt. Sie zählen zu den Pionieren, weil in diesen Branchen die Vorteile des 3D-Drucks deutlich zum Tragen kommen. In der Luft- und Raumfahrt geht es häufig darum, möglichst gewichtsreduzierte Konstruktionen zu verwirklichen. Die Möglichkeiten mit additiver Fertigung Leichtbaustrukturen zu realisieren, kommen dieser Anforderung entgegen. Die Entwicklungen in der Automobilindustrie führen zu immer kürzeren Innovationszyklen<sup>1</sup>, hier hilft der 3D-Druck die time-to-market zu verkürzen, in dem die Technologie beim Produktentwicklungsprozess zum Einsatz kommt. Die Medizin profitiert vor allen von der Möglichkeit auf die Bedürfnisse des einzelnen Patienten exakt angepasste Produkte, wie Hörgeräte, Prothesen und Orthesen fertigen zu können.

Nachfolgende Grafik aus einer Studie von Ernst & Young zeigt welche Branchen, in welchen Umfang 3D-Druck einsetzen und dieses in Zukunft planen.

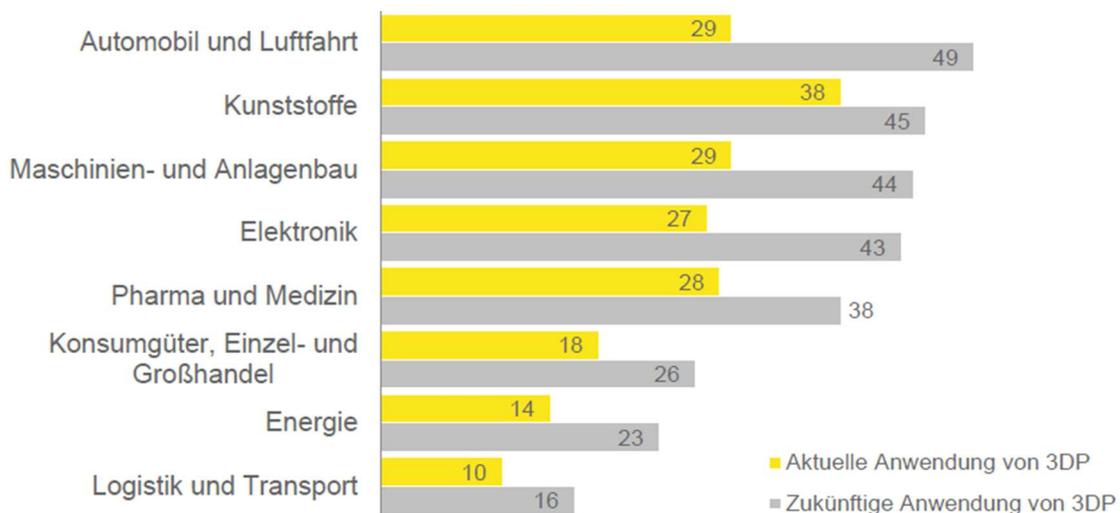


Abbildung 2: Anwendung von 3D-Druck und Zukunftspläne nach Branchen [%]<sup>2</sup>

<sup>1</sup> vgl. (Wemhöner, 2005, S. 46)

<sup>2</sup> vgl. (Ernst & Young GmbH, 2016, S. 6)

Abbildung 3 von Frost & Sullivan visualisiert, in welche Branchen 3D-Druck bereits vorgedrungen ist bzw. wie die zukünftigen Erwartungen diesbezüglich sind und in welcher Ausprägung es zur Anwendung kommt.

#### Future of Additive Manufacturing: Schematic Adoption Rate of 3D Printing Across Industry Verticals, Global, 2015–2025

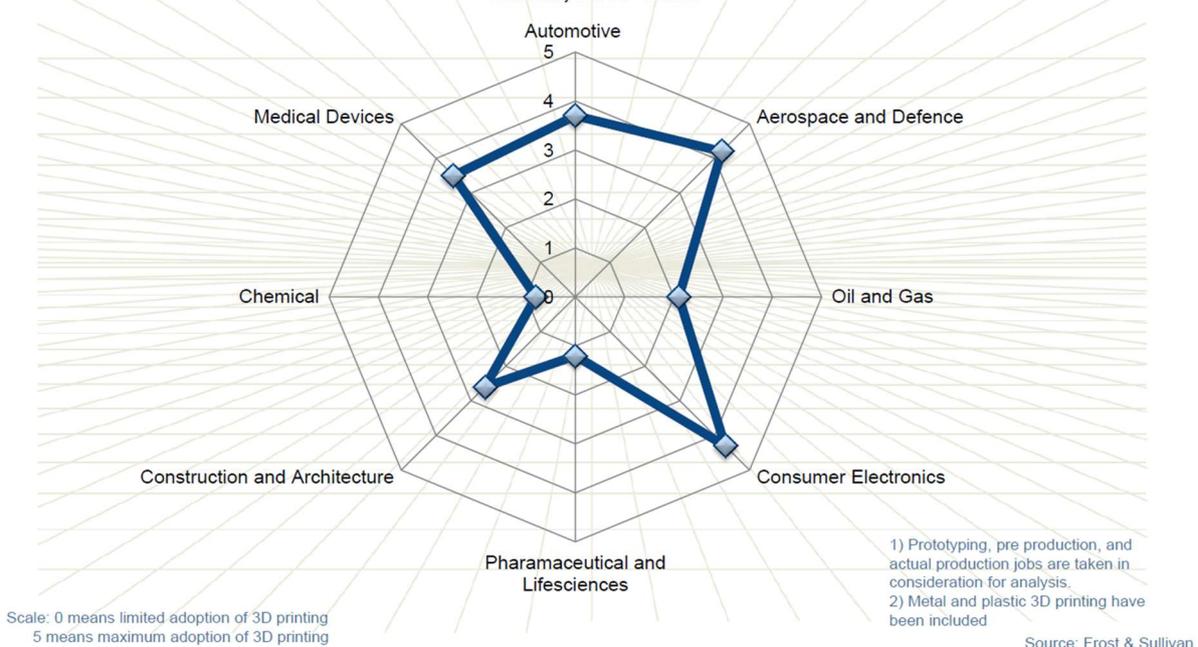


Abbildung 3: Branchenübersicht 3D-Druck Anwendungslevel<sup>3</sup>

Abbildung 4 zeigt die weltweite Umsatzverteilung von 3D-Druckern aus dem Jahr 2013 aufgeschlüsselt nach Branchen.

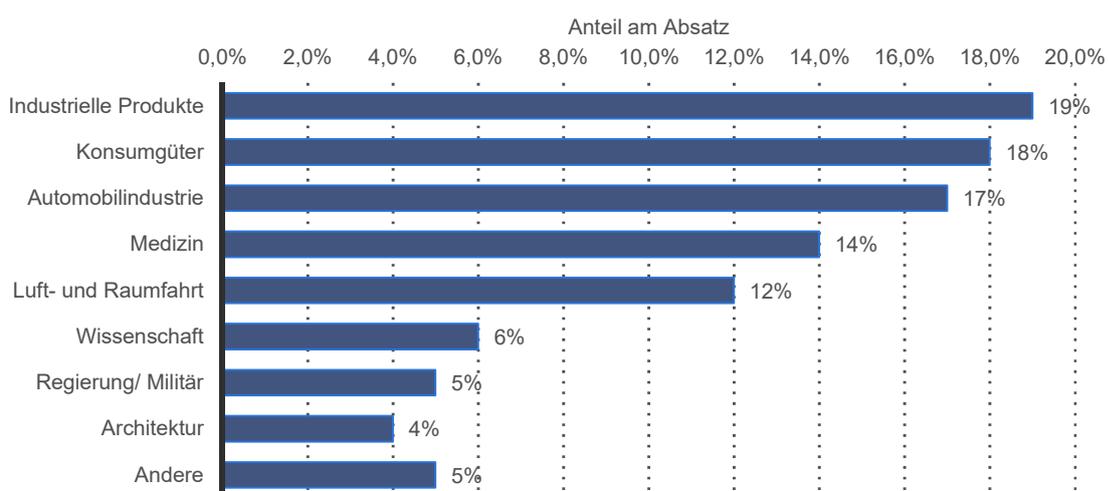


Abbildung 4: Umsatzstruktur weltweit nach Branchen 2013<sup>4</sup>

<sup>3</sup> vgl. (Frost & Sullivan, 2016, S. 24)

<sup>4</sup> vgl. (Statista, 2015, S. 8)

Die folgenden Kapitel zeigen für jede Branche drei aktuelle Anwendungsbeispiele auf, die die Möglichkeiten des 3D-Drucks verdeutlichen und die Potenziale der Technologie für die einzelnen Branchen aufzeigen.

Abb. Nr.	Branche	Anwendungsbeispiel	Material	Verfahren
5 und 6	Luft- und Raumfahrt	Light Rider (e-Bike)	Metall	SLS
7		THOR (e-Flugzeug)	Kunststoff	SLS
8 und 9		Drohne	Kunststoff	FDM
10	Automobilindustrie	Flexible Orthese	Kunststoff	SLS
11		Ersatzteile	Kunststoff	SLS
12		Luftansaugkanal	Kunststoff	FDM
13	Maschinenbau	Bauteile für Gasturbine	Metall	SLM
14		Blas- und Gussformen	Kunststoff	PJM
15		Pumpenformen	Sand	3DP
16	Medizin	Knochenmodelle	Papier	LOM
17		Einweg-Werkzeug	Kunststoff	SLS
18		Unterkiefer	Metall	SLS
19	Bioprinting	Knorpelgewebe	Biomaterial	tissue printing
20		Nervenzellen	Biomaterial	tissue printing
21		Herzzellen	Biomaterial	tissue printing
22	Konsumgüter/Kunst	Brillengestelle	Kunststoff	PJM
23		Schuhsohle	Kunststoff	SLS
24		Pauline	Kunstharz	SLA
25 / 26	Architektur	Repliken	Kunststoff	3DP
27		Rennstreckenmodell	Kunststoff	FDM
28 / 29		Modell der Hathorkapelle	Kunststoff	3DP
30	Rüstungsindustrie	Feuerwaffe	Metall	SLM
31		Drohne	Kunststoff	FDM
32 / 33		Flugzeugbauteile	Kunststoff	FDM
34	F & E	Mikro-Objektive	Fotosensitive	2PP
35		Hartmetallwerkzeuge	Metall	3DP
36		Herz-Katheter-Pumpe	Kunststoff	LCM

Tabelle 1: Übersicht Best Practices

## 2.1. Luft- und Raumfahrt

Ein Kostentreiber bei dem Betrieb von Fluggeräten ist der Treibstoffverbrauch. Je leichter also ein Fluggerät, desto weniger Treibstoff wird benötigt. Betrachtet auf den gesamten Lebenszyklus eines Fluggerätes lassen sich durch die Realisierung von Leichtbaustrukturen mit 3D-Druck Kosten sparen<sup>5</sup>.

### Der Light Rider

Wie stark die Luft- und Raumfahrtindustrie von 3D-Druck durchdrungen ist, zeigt die Fa. APWorks. Diese veranschaulichen mit ihrem „Light Rider“, einem Leichtbaumotorrad mit elektrischem Antrieb, welche Möglichkeiten sich durch 3D-Druck eröffnen.



Abbildung 5: Light Rider von APWorks (Quelle: APWorks)

Aufgrund seines konstruktionsbedingten geringen Gewichtes (35 kg wiegt der 3D-gedruckte Motorrad Prototyp) erreicht das e-Bike eine Geschwindigkeit von 80 km/h bei



Abbildung 6: Organische Rahmenstruktur (Quelle: APWorks)

einer Beschleunigung von 0 – 45 km/h in 3 Sekunden. Dieses Beispiel veranschaulicht eindrucksvoll, dass 3D-Druck dann seine Stärken am besten ausspielen kann, wenn diese bereits in der Konstruktionsphase berücksichtigt werden. Die organische Rahmenstruktur wurde mithilfe bionischer Algorithmen realisiert. Die derart komplexe Struktur ist nur mit 3D-Druck herstellbar.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> vgl. (Roland Berger, 2013, S. 11)

<sup>6</sup> vgl. (Airbus APWorks GmbH, 2016)

## THOR

THOR (Testing High-tech Objectives in Reality) ist ein Projekt von Airbus in dessen Rahmen ein Mini-Flugzeug gedruckt wurde als Prüfstand für futuristische Flugzeugtechnologien: von 3D-bedruckten Strukturteilen bis hin zu fortschrittlicher Aerodynamik und sogar künstlicher Intelligenz.



Abbildung 7: Einzelkomponenten und Mini-Testflugzeug THOR (Quelle: Airbus)

Das Modell wiegt 21 kg und wird elektrisch angetrieben. 90 Prozent der Bauteile sind 3D-gedruckt. Nach Aussage von Airbus ist dieses Miniflugzeug kein wirkliches Airliner-Design, das Airbus in Erwägung zieht, sondern es ist eine Plattform, um eine risikoarme und rasante Entwicklung unterschiedlicher Technologien unter realen Flugbedingungen zu ermöglichen. Ein großer Vorteil von THOR ist die kurze Vorlaufzeit des 3D-Drucks, die die Entwicklungszeit für die Herstellung des Technologiedemonstrators im Vergleich zu herkömmlichen Herstellungsmethoden deutlich reduziert hat. Mit einem bestehenden Konstruktionskonzept dauerte es etwa sieben Wochen, bis die 60 Segmente des THOR-Flugzeugs gedruckt wurden, gefolgt von einer Woche für die Montage und drei Tage, um die elektrischen Systeme vor der Flugfertigung fein abzustimmen.<sup>7</sup>

## Drohne

In Kooperation zwischen den Firmen Aurora Flight Sciences und Stratasys ist eine 3D-gedruckte Drohne (UAV = unmanned aerial vehicle) entstanden. In dem Projekt sollte u. a. die Technologiereife des FDM-Verfahrens aufgezeigt werden, so wurden vollständig umschlossene Wabenstrukturen realisiert.

<sup>7</sup> vgl. (Airbus S.A.S, 2016)

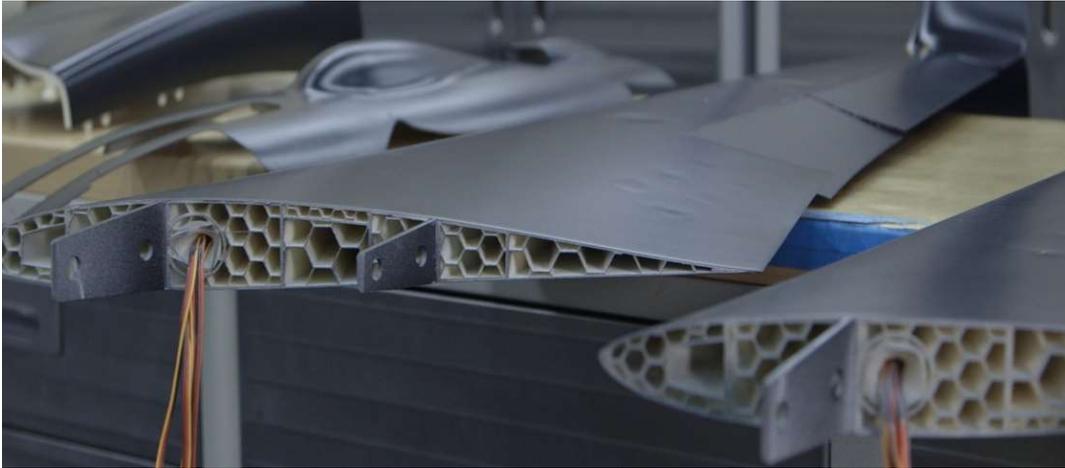


Abbildung 8: UAV Leichtbaustruktur (Quelle: Business Wire)

Das zu 80 % aus 3D-gedruckten Teilen realisierte UAV hat eine Flügelspannweite von drei Metern bei einem Gewicht von 15 kg. Die Kombination aus innovativer Konstruktion und innovativer Technologie führt zu einer dramatisch verkürzten Entwicklungszeit vom ersten Konzept bis zum ersten erfolgreichen Flug. Insgesamt konnte die Konstruktions- und Bauzeit des Flugzeugs um 50 Prozent reduziert werden.<sup>8</sup>



Abbildung 9: Weltweit erste FDM-gedruckte Drohne (Quelle: Business Wire)

<sup>8</sup> vgl. (Business Wire, Inc., 2017)

## 2.2 Automobilindustrie

3D-Druck kommt in der Automobilindustrie bei der Produktentwicklung, beim Prototypen- und Werkzeugbau sowie der Herstellung von Ersatzteilen zum Einsatz. Es ist möglich, mit 3D-Drucktechnologien Sonderanfertigungen nach Kundenwünschen herzustellen. Die Anwendung des 3D-Drucks gibt die Möglichkeit, das Gewicht des Fahrzeuges zu reduzieren und die Bauteile individuell zu gestalten.<sup>9</sup>

### Flexible Orthese

Die BMW Group nutzt den 3D-Druck, um die Mitarbeiter in der Produktion zu unterstützen. In Zusammenarbeit mit der TU München hat die BMW Group ein Projekt in der Fahrzeugmontage des Werkes München durchgeführt. Dabei wurde eine flexible Orthese entwickelt, um die Belastung der Daumengelenke bei bestimmten Montagearbeiten zu mindern. Die BMW Group stellt die flexible Orthese individuell für jeden Mitarbeiter mittels 3D-Druck her.



Abbildung 10: Individuelle Orthesen für die Fahrzeugmontage (Quelle: BMW Group)

Die Orthese wird beim Anbringen von Stopfen aus Hartgummi verwendet, wobei die Stopfen per Daumen eingedrückt werden. Dabei wird das Daumengelenk stark belastet. Bei der Anwendung der Orthese wird das Gelenk durch das verstärkte Kunststoffmaterial unterstützt. Für die Herstellung der Orthese wird zuerst der Daumen des Mitarbeiters mittels 3D-Scanner vermessen. Anschließend wird SLS-Druckverfahren eine dünne Orthese aus thermoplastischem Polyurethan erzeugt.<sup>10</sup>

<sup>9</sup> vgl. (Leupold Andreas, Glossner Silke, 2016)

<sup>10</sup> vgl. (BMW Group, 2014)

## Lkw-Ersatzteile

Mercedes-Benz Lkw hat im September 2016 im Bereich Customer Service & Parts die Produktion von Ersatzteilen mittels 3D-Druck eingeführt. Mit der Anwendung der additiven Fertigung können die Ersatzteile in Original-Herstellerqualität schnell, wirtschaftlich und in beliebigen Mengen hergestellt und geliefert werden.



Abbildung 11: Kunststoff-Ersatzteile für Mercedes-Benz Lkw (Quelle: Daimler AG)

Die 3D-gedruckten Ersatzteile sind hilfreich im After-Sales Service, da sie immer „on demand“ für die Kunden verfügbar sind. Die Herstellung ist umweltfreundlich und benötigt keine Lagerhaltung, was zu einer Reduzierung der Lagerkosten führt. Die Anwendung des 3D-Drucks wird bei Mercedes-Benz Lkw weiter ausgebaut werden. Die 3D-gedruckten Ersatzteile weisen die gleiche Qualität, Funktionalität sowie Langlebigkeit wie die konventionell gefertigten Teile auf. Bieten aber mehr Flexibilität in puncto Wirtschaftlichkeit, Lagerhaltung sowie bei der Herstellung von komplexen Teilen. Die Ersatzteile können vom Kunden durch die Angabe seiner Ersatzteilnummer auch nach mehreren Jahrzehnten bestellt werden, auch für die Baureihen, die nicht mehr produziert werden.<sup>11</sup>

## Bauteile im Motorraum

Lamborghini nutzt 3D-Druck für den gesamten Produktentstehungsprozess, vom Prototypenbau bis zu gebrauchsfertigen Endteilen. Dabei werden Vorteile, wie Designfreiheit und schnelle Entwicklung von Prototypen sowie die Möglichkeit zeitnah auf die

---

<sup>11</sup> vgl. (Daimler AG, 2016)

Marktbedürfnisse zu reagieren, genutzt. In Zusammenarbeit mit Stratasys kann Lamborghini widerstandsfähige Endbauteile für Fahrzeuge bei Hochgeschwindigkeitsrennen in sehr kurzer Zeit herstellen.



Abbildung 12: 3D-gedruckter Luftansaugkanal für einen Motor und Ellbogenstütze (Quelle: Stratasys)

Der Einsatz von 3D-Druck im Prototypenbau senkt die Entwicklungszeiten und die damit verbundenen Kosten. Mit 3D-Druck können maßstabsgetreue Modelle und funktionale Prototypen wie Stoßfänger oder Zierrahmen, aber auch Innenteile wie Türverkleidungen, Lenkräder oder Ellbogenstützen hergestellt werden.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> vgl. (Stratasys, 2015)

## 2.3 Maschinenbauindustrie

3D-Druck im Maschinenbau ermöglicht die werkzeuglose Formherstellung und bringt zahlreiche Vorteile im Bereich der Gießerei. Es werden zum Beispiel Ersatzteile für Gasturbinen, Silikon- sowie Sandgussformen erzeugt. Die Anwendung der 3D-Druck-Technologie gibt die Möglichkeit, die Kundenanforderungen schnell und zuverlässig zu erfüllen sowie die Durchlaufzeiten und Kosten zu reduzieren.<sup>13</sup>

### Bauteile einer Gasturbine

Siemens nutzt den 3D-Druck, um Bauteile für Gasturbinen herzustellen. Im Vergleich zur konventionellen Fertigung schafft das mehr Flexibilität im Design und reduziert die Produktionszeit.



Abbildung 13: 3D-gedruckte Bauteile einer Gasturbine (Quelle: Siemens AG)

Beispielsweise für die Herstellung von Gasturbinen-Brenner kommt das SLM-Druckverfahren zum Einsatz. In Zusammenarbeit mit EOS wurden 3D-Drucker entwickelt, mit denen gleichzeitig bis zu acht Teile aus Metall produziert werden können. Durch den 3D-Druck können die komplexen Bauteile einer Gasturbine flexibler, schneller und umweltfreundlicher produziert werden, wobei auch die Herstellkosten reduziert werden konnten. Die Produktionszeiten konnten von mehreren Monaten auf wenige Wochen minimiert werden, weil der Herstellungsprozess heute bis zu zehn Mal schneller ist, als bei der konventionellen Fertigung. Siemens plant an jedem Standort, der Gasturbinen produziert, 3D-Drucker zu integrieren.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> vgl. (Voxeljet AG, 2011)

<sup>14</sup> vgl. (Siemens AG, 2016)

## Blas- und Gussformen

Mittels dem Polyjet-Druckverfahren von Stratasys können heute Blasformen und Silikon-gussformen hergestellt werden. Auch hier können so die Herstellkosten und -dauer enorm reduziert werden. Die Formen und Formkomponenten können in wenigen Tagen, anstatt Wochen, an die Kunden geliefert werden.



Abbildung 14: 3D-gedrucktes Kunststoff-Form (Quelle: Cadimensions Inc.)

3D-Druck bietet die Möglichkeit, die Formen flexibel zu designen und das neue Design und die Funktionalität früh in der Entwicklungsphase zu testen. Die Produktion der Gussformen muss nicht mehr verlagert werden, somit reduziert sich die Herstellungsdauer, was zur schnelleren Markteinführung führen kann.<sup>15</sup>

## Pumpenformen

3D-Druck wird stark in Gießereien eingesetzt und bringt diesen viele Vorteile, wie z. B. kürzere Durchlaufzeiten oder bessere Oberflächenqualität. Der niederländische Pumpenhersteller Nijhuis produzierte mit der herkömmlichen Fertigung Pumpenhäuser mit einem Gewicht von bis zu 800 Kilogramm bei einer Produktionsdauer von mehreren Monaten. In Zusammenarbeit mit Voxeljet werden die Bauteile on-demand mit 3D-Druckern gefertigt. Dabei wird für die Herstellung der Pumpengehäuse als Druckmaterial Sand verwendet. Die fertigen Sandformen sind 4 x 2 x 1 Meter groß und wiegen jetzt 269 kg. Der Bauprozess beträgt 13 Stunden und die Sandformen können innerhalb von 10 Tagen geliefert werden.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> vgl. (Cadimensions Inc, 2016)

<sup>16</sup> vgl. (Voxeljet AG, 2011)



Abbildung 15: 3D-gedruckte Sandformen (Quelle: Voxeljet AG)

## 2.4 Medizin / Zahnmedizin

In der Medizin und Zahnmedizin werden mit 3D-Druck Implantate, Modelle, Orthesen und medizinische Werkzeuge schnell und individuell gefertigt. Die früher manuell gefertigten Modelle können jetzt mit 3D-Scan-Daten vollständig rekonstruiert und einzigartig an den Patienten angepasst werden.<sup>17</sup>

### Knochenmodelle

Um die Operationszeiten sowie die Vorbereitungen chirurgischer Eingriffe zu verkürzen, verwendet die belgische Universität catholique de Louvain 3D-Druck zur Erstellung von Knochenmodellen. Diese Modelle werden auf einem Papier-3D-Drucker der Firma Mcor Technologies im kostengünstigen LOM-Druckverfahren gefertigt. Mithilfe der Knochenmodelle ist es möglich ein Implantat vor dem chirurgischen Eingriff genau anzupassen, wobei die Operationszeit bis zu einer Stunde verkürzt und die Kosten für die Herstellung von Knochenmodellen minimiert werden können.



Abbildung 16: 3D-gedrucktes Knochenmodell (Quelle: Mcor Technologies)

Ein großer Vorteil bringt die 3D-Drucktechnologie auch für Patienten, da je länger die Operationsdauer ist, desto mehr Risiken wird der Patient ausgesetzt.<sup>18</sup>

### Medizinische Einweg-Werkzeuge

Die Firma Composites Busch ermöglicht die Herstellung von Einweg-Werkzeugen für chirurgische Zwecke mittels 3D-Druck. Die medizinischen Werkzeuge werden aus widerstandsfähigem Kunststoff hergestellt. Die Reinigungs- und Sterilisationsverfahren können daher bei den Werkzeugen angewendet werden, ohne zu Veränderungen, der funktionalen und dimensional Eigenschaften zu führen. Der 3D-Druck ermöglicht

<sup>17</sup> vgl. (Gebhardt Andreas, Kessler Julia, Thurn Laura, 2016, S. 121)

<sup>18</sup> vgl. (Mcor Technologies, 2013)

die individuelle Anpassung der Werkzeuge für jeden Patienten, wobei die chirurgischen Verfahren erleichtert und verbessert werden können.<sup>19</sup>



Abbildung 17: 3D-Einweg-Werkzeug (Quelle: 3druck.com)

### Titan-Unterkiefer

Durch den Einsatz des 3D-Druckers hat das Biomedical Research Institute der Hasselt University in Belgien und das belgische Unternehmen LayerWise einen kompletten Unterkiefer hergestellt, wobei das Knochengewebe durch eine Titankonstruktion ersetzt wurde.

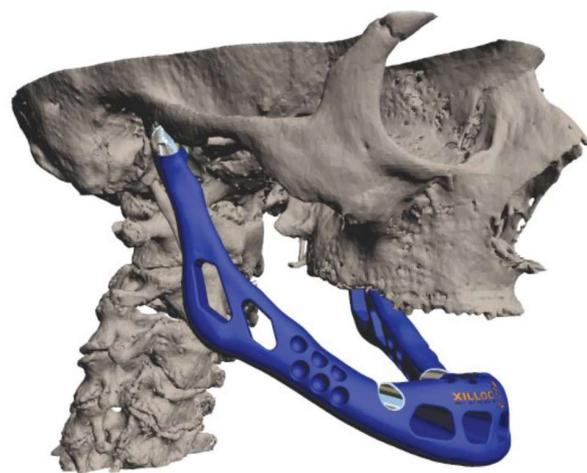


Abbildung 18: 3D-gedruckter Titan-Unterkiefer (Quelle: Layerwise)

Der Unterkiefer wurde aus Titanpulver aus 33 feinen Schichten hergestellt und anschließend mit Biokeramik überzogen. Der Titan-Unterkiefer wiegt 107 g und ist um ein Drittel schwerer als natürliche Knochengewebe, die Funktionalität wird dadurch nicht beeinflusst.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> vgl. (Composites Busch SA, 2016)

<sup>20</sup> vgl. (Spiegel Online, 2012)

## 2.5 Bioprinting

Dem Bioprinting Sektor wird eine große Zukunft vorausgesagt. Zukünftig soll es möglich sein, vom Patienten eigene Zellen zur Herstellung von Organen zu nutzen. Damit könnte die Wartezeit auf eine Organtransplantation verkürzt und die Einnahme der Immunsuppressiva nicht mehr benötigt werden.<sup>21</sup>

### Knorpelgewebe, Knochen und Muskeln

Von den Wissenschaftlern des Wake Forest Baptist Medical Centers in den USA wurde der 3D-Bioprinter ITOP entwickelt, welcher die Herstellung von Knorpelgewebe, Knochen sowie Muskeln ermöglicht. Das 3D-gedruckte Gewebe soll stabil genug für die Implantationen in den menschlichen Körper sein.

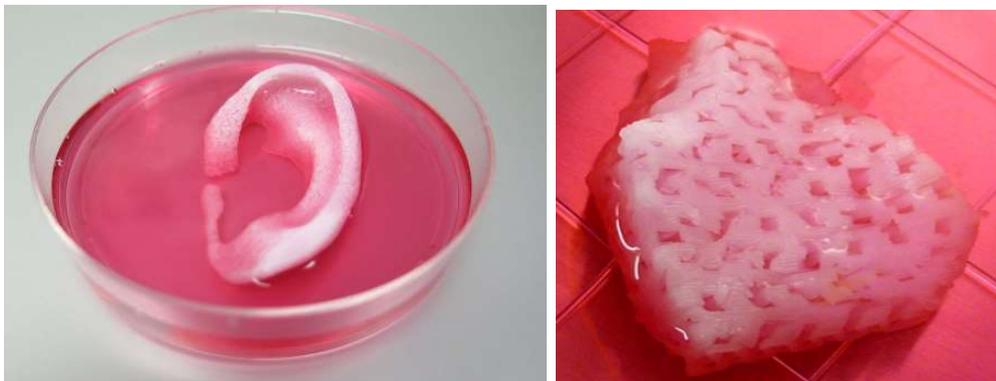


Abbildung 19: 3D-gedruckte Knorpelgewebe (Quelle: 3druck.com)

Bisher wurde das Gewebe in Mäusen und Ratten implantiert und zeigte vielversprechende Ergebnisse. Eine große Herausforderung bei der Herstellung von Gewebe ist die Stabilität der Strukturen. Diese künstlichen Strukturen haben inzwischen die richtige Größe sowie Stabilität und könnten funktionsfähig in den menschlichen Körper implantiert werden. Das Gewebe hat als Basis ein Hydrogel, welches Zellen und ein biologisch abbaubares Polymer enthält. Das Polymer dient zunächst der Stabilisierung und wird nach und nach abgebaut.<sup>22</sup>

### Nervenzellen

An der Michigan Technological University wird mit dem Einsatz von 3D-Druckern der Firma BioBots erforscht, wie Nervenzellen sich regenerieren können. Die Forscher verwenden Cellulose Nanokristalle als „BioInk“, die als Träger für 3D-Zellkultur dienen.

<sup>21</sup> vgl. (Leupold Andreas, Glossner Silke, 2016, S. 13)

<sup>22</sup> vgl. (Wake Forest, 2016)

Die Nervenzellen werden nicht nur durch Cellulose unterstützt, sondern benötigen auch elektrische Impulse. Dabei wird das Material Graphen eingesetzt, welches die benötigten elektrischen und leitfähigen Eigenschaften aufweist. So wollen die Forscher mit Graphen gebundene 3D-Struktur als Nervenzellen-Träger mit 3D-Druckern aufbauen.

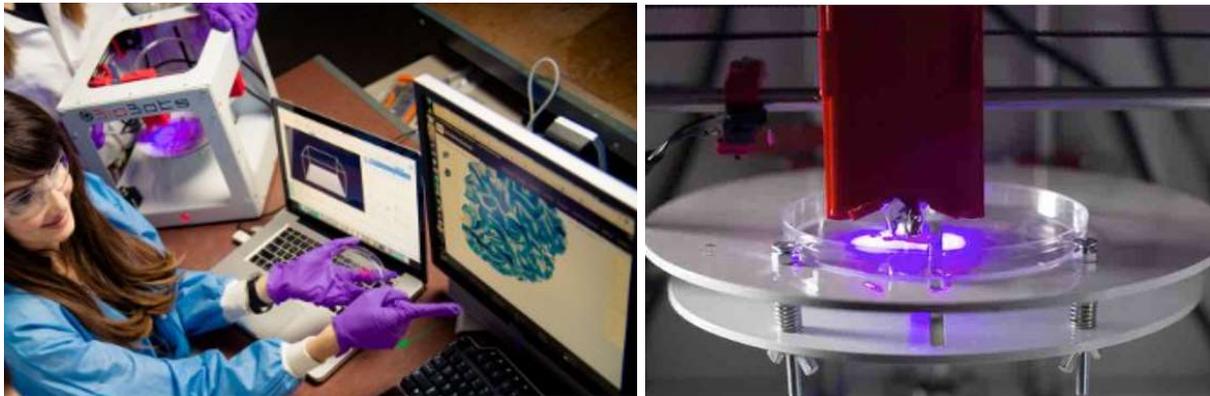


Abbildung 20: 3D-gedruckte Nervenzellen (Quelle: Michigan Tech)

Diese Methode kann hilfreich bei der Regenerierung von Nervengewebe sowie bei der Verletzung des Rückenmarks sein. Das „BioInk“-Material kann künftig auch in anderen Bereichen des Bioprintings angewendet werden.<sup>23</sup>

## Herzzellen

Für Patienten nach einem Herzinfarkt haben Forscher am Heart Research Institute in Sydney funktionsfähige Herzzellen mittels 3D-Bioprinter hergestellt. Diese Herzzellen können das beschädigte Gewebe der Patienten ersetzen. Das 3D-Gewebe besteht aus generierten Stammzellen, die aus Hautzellen des Patienten stammen, und können an den betroffenen Stellen nach dem Herzinfarkt implantiert werden.

---

<sup>23</sup> vgl. (Michigan Tech, 2015)

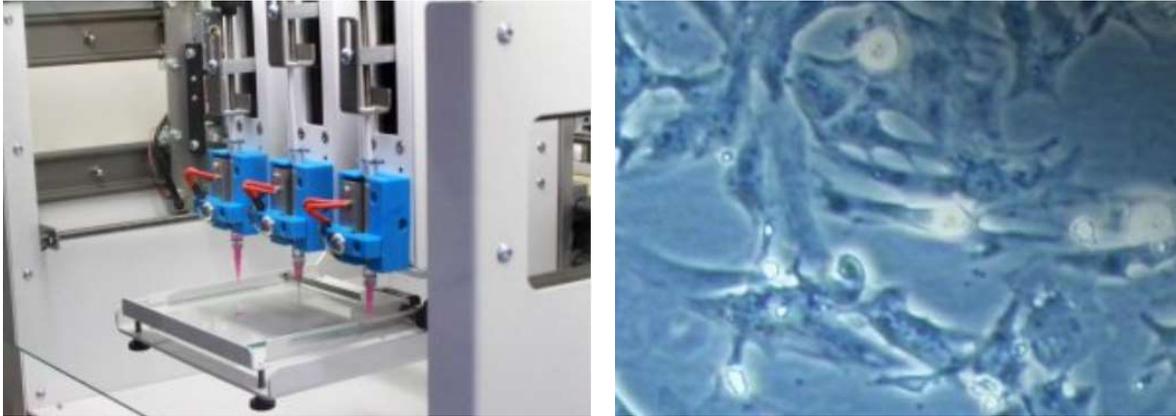


Abbildung 21: 3D-Bioprinter und 3D-gedruckte Herzzellen (Quelle: ABC News)

Werden 3D-gedruckte Herzzellen an der Stelle der abgestorbenen Zellen eingesetzt, verbessert das die Lebensqualität der Patienten. Zusätzlich können neue Medikamente für herzerkrankte Patienten an dem 3D-gedruckten Gewebe getestet werden.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> vgl. (Heart Research Institute, 2016)

## 2.6 Konsumgüter / Kunst und Design

Die Konsumgüter müssen heute schnell an individuelle Kundenwünsche angepasst werden, dabei aber nicht nur die Funktionen erfüllen, sondern auch im Trend sein. Die additive Fertigung eröffnet neue Perspektiven für Designer, wobei die Einzelstücke mit einzigartigem Design und komplexen Geometrien gefertigt werden können.<sup>25</sup>

### Brillengestelle

Der Brillenhersteller Safilo hat in Zusammenarbeit mit Stratasys die Verkürzung der Prozessdauer bei der Herstellung von Brillengestellen erreicht.



Abbildung 22: 3D-gedruckte Brillengestelle (Quelle: Fertigung.de)

Im Vergleich zur herkömmlichen Fertigung können die Brillengestelle durch 3D-Druck 60 Prozent schneller hergestellt werden. So hat die herkömmliche Fertigung mit manueller Nacharbeitung 15 Stunden gedauert, mit 3D-Druck konnte der Prozess auf drei Stunden verkürzt werden. Ebenso werden Prototypen gefertigt, was zu mehr Designfreiheit sowie zur Reduzierung der Produktentwicklungskosten führt. Das Design der Brillengestelle kann individuell an die Kundenwünsche angepasst und mehrere Produktreihen frühzeitig mit verschiedenen Designs perfektioniert werden.<sup>26</sup>

<sup>25</sup> vgl. (Gebhardt Andreas, Kessler Julia, Thurn Laura, 2016, S. 109)

<sup>26</sup> vgl. (Fertigung, 2016)

## Individuelle Laufschuhsohle

Adidas hat mit Unterstützung von Materialise, einem 3D-Software-Dienstleister, eine 3D-gedruckte Laufschuhsohle präsentiert, die individuell auf den Fuß eines Einzelnen angepasst werden kann. Mit dem neuen Konzept „Futurecraft 3D“ hat Adidas als Ziel gesetzt, allen Sportlern die Möglichkeit zu geben einen Laufschuh mit individueller Stützung und Dämpfung zu tragen.



Abbildung 23: Individuelle 3D-Schuhsohle (Quelle: Adidas Group)

Das Projekt „Futurecraft 3D“ ist heute ein Prototyp einer langfristigen Vision der Adidas Group. Dafür wurden Druckmaterialien und Prozesse entwickelt, die ganz neue Perspektiven für die Herstellung von Laufschuhen eröffnen. Vor dem Bauprozess werden die Konturen und Druckpunkte des Läufers vermessen und mit Unterstützung von Footscan-Technologie werden die Daten übertragen. Diese Technologie eröffnet die Möglichkeit für die Herstellung von individuellen Laufschuhen direkt vor Ort.<sup>27</sup>

## Pauline

Vorbild für die 3D-gedruckte Pauline war ein klassisches Instrument. Die Geige wurde aus flüssigem Kunstharz im SLA-Druckverfahren hergestellt. Dabei entstand das außergewöhnliche Musikinstrument namens Pauline aus durchsichtigem Kunststoff.

---

<sup>27</sup> vgl. (Materialise, 2016)



Abbildung 24: 3D-gedruckte Pauline (Quelle: 3D-Varius)

Hals, Korpus und Kinnhalter sind in einem Stück gefertigt. Zusätzlich wurden die Saiten, der Saitensteg sowie die Wirbel für die Saitenspannung später hinzugefügt. Nach dem Bauprozess wurde die Geige für mehr Stabilität mit UV-Licht ausgehärtet.<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> vgl. (3D-Varius, 2015)

## 2.7 Architektur

Künstler und Architekten waren unter den Ersten, die den 3D-Druck zur Herstellung komplexer Geometrien genutzt haben. Heute ist es möglich, im Bereich Architektur verschiedene Objekte aus Metall, Kunststoff, Sand und anderen Materialien herzustellen. Die Fertigung von individuellen Skulpturen wird durch 3D-Druck möglich und kann zudem durch 3D-Scanner unterstützt werden.<sup>29</sup>

### Repliken

Das Unternehmen 3DION hat in Zusammenarbeit mit Voxeljet, einer der führenden Hersteller von 3D-Drucksystemen, ein Projekt für den Kölner Dom realisiert. Dabei wurden Repliken in unterschiedlichen Größen und Ausführungen hergestellt. Der von Voxeljet verwendete Sand als Druckmaterial hat eine Haptik, die am besten für die Restauration geeignet schien.



Abbildung 25: 3D-gedruckte Repliken (Quelle: 3DION)

Zuerst wurden die alten vorhandenen Gipsmodelle mittels 3D-Scanner vermessen und druckbare digitale Modelle erstellt. Danach wurden die 108 Repliken gedruckt, wobei der Druckprozess nur 31 Stunden gedauert hat. Nach der Reinigung wurden die Repliken für mehr Schutz und Stabilität imprägniert.<sup>30</sup>

<sup>29</sup> vgl. (Gebhardt Andreas, Kessler Julia, Thurn Laura, 2016, S. 116)

<sup>30</sup> vgl. (3DION, 2015)



Abbildung 26: Produktion von 3D-gedruckte Repliken (Quelle: 3DION)

### Modell einer Formel-1-Rennstrecke

Die modernen F1-Strecken verfügen über keine flache Topographie, sondern über Hügel, Senken und Kuppen sowie zahlreiche Hotels, Restaurants, Einkaufsbereiche und sonstige Einrichtungen für die Gäste. Deswegen ist es zeit- und kostenaufwendig, die Modelle für solche Rennstrecken konventionell zu fertigen. Mithilfe von 3D-Druck ist es möglich, komplexe 3D-Farbmodelle unter Berücksichtigung der unebenen Topographien herzustellen.



Abbildung 27: 3D-gedrucktes Modell einer Formel-1-Rennstrecke (Quelle: 3D Systems)

Für die Herstellung von Rennstreckenmodellen wurde der 3D-Drucker Spectrum Z510 der Firma 3D System verwendet, welcher Farbmodelle in hoher Qualität ermöglicht. Nach wenigen Stunden anstatt Tagen war das Modell fertiggestellt. Die Rennstreckenmodelle vermitteln den Kunden eine realistische Vorstellung von der Streckenplanung.<sup>31</sup>

<sup>31</sup> vgl. (3D Systems, 2016)

## Modell der Hathorkapelle in Sudan

Nach fünf Jahren Arbeit des Teams vom ägyptischen Museum Berlin wurde das Modell der Hathorkapelle aus „Königstadt Naga“ im Sudan präsentiert. Dafür wurden zuerst drei Wochen lang die Überreste der Kapelle gescannt. Dabei wurden 2500 Einzelscans mit etwa 1,5 Milliarden Bildpunkten erfasst, die anschließend am Computer in Strukturen zerlegt wurden, um eine geeignete Methode zur Rettung der Kapelle zu entwickeln.



Abbildung 28: digitales 3D-Modell der Hathorkapelle



Abbildung 29: 3D-gedrucktes Modell der Hathorkapelle (Quelle: Voxeljet)

Mit Unterstützung von Voxeljet entstand das in Abbildung 29 dargestellte Kunststoffmodell mit den Abmaßen 481 x 825 x 584 Millimeter.<sup>32</sup>

<sup>32</sup> vgl. (Voxeljet AG, 2011)

## 2.8 Rüstungsindustrie

Immer mehr Rüstungsgüter, von der Pistole bis zur Drohne für die Air Force, werden mit 3D-Druck hergestellt. Die 3D-Technologie revolutioniert die Rüstungsindustrie, bringt aber Risiken bei Sicherheitsaspekten. Es ist denkbar, dass künftig jede Truppe mit kompakten 3D-Druckern ausgestattet ist, um bei Bedarf die Waffen vor Ort herstellen zu können.<sup>33</sup>

### Feuerwaffe

Die Pistole vom Typ Colt M1911 wurde von Solid Concepts mit einem 3D-Drucker hergestellt und hat den Praxistest unbeschadet überstanden. Der Colt wurde aus Stahl und Nickellegierungen gefertigt und besteht aus 30 Einzelteilen, wobei auch die Kunststoffgriffschale mit dem 3D-Drucker hergestellt wurde.



Abbildung 30: 3D-gedruckter Colt M1911 (Quelle: StratasyS)

Mit der Herstellung der Feuerwaffe wollte Solid Concepts zeigen, dass die aus Metall gedruckten Teile haltbar sind und es möglich ist, funktionsfähige Endprodukte herzustellen.<sup>34</sup>

### Drohne

Trainer Development Flight in Texas entwickelt und fertigt für die Air Force und alle Abteilungen des Verteidigungsministeriums Schulungsmaterialien. Bei diesen Materialien handelt es sich meistens um Originalprodukte, die nicht mehr funktionsfähig sind. Das Anschaffen von diesen Produkten ist teuer und nimmt viel Zeit in Anspruch, des-

<sup>33</sup> vgl. (Wirtschaftswoche, 2016)

<sup>34</sup> vgl. (StratasyS, 2013)

wegen ist es wirtschaftlicher bei den Schulungen Nachbildungen zu nutzen. Die Herstellung von Nachbildungen mit herkömmlichen Methoden mittels Fräsen, Drehen und Schweißen ist teuer, da es sich meistens um Einzelstücke handelt. Durch den Einsatz von 3D-Druckern können heute im Bereich des Drohnenprojekts bis zu drei Jahre Fertigungszeit eingespart werden. Zum Beispiel für die Herstellung einer Antenne wurden bisher bis zu 20 Tage benötigt. Mit 3D-Druck kann die Antenne in zwei Tagen hergestellt werden. Insgesamt wurden so 800.000 Dollar in vier Jahren eingespart.<sup>35</sup>



Abbildung 31: 3D-gedruckte Nachbildung einer Drohne für Schulungen (Quelle: StratasyS)

### 3D-Bauteile in Überwachungsflugzeugen

Die Überwachungsflugzeuge der US-Armee haben eine Zulassung für das erste 3D-gedruckte Teil bekommen. Mit der Zeit wird es immer teurer die Ersatzteile für die E-3 AWACS (Airborne Warning and Control System) Flugzeuge herzustellen.



Abbildung 32: E-3 AWACS Flugzeug (Quelle: 3ders.org)

Mit konventioneller Fertigung dauerte die Herstellung der Ersatzteile teilweise mehr als acht Stunden. Mit 3D-Druck konnte beispielsweise eine Abdeckung für die Armlehnen

---

<sup>35</sup> vgl. (StratasyS, 2008)

in 30 Minuten hergestellt werden. Da es sich um ein US-Militär Flugzeug handelt, ist die Zulassung für das erste 3D-gedruckte Bauteil ein großer Schritt für US-Verteidigungsministerium.<sup>36</sup>



*Abbildung 33: 3D-gedruckte Abdeckung für die Armlehnen der Boeing E-3 (Quelle: 3ders.org)*

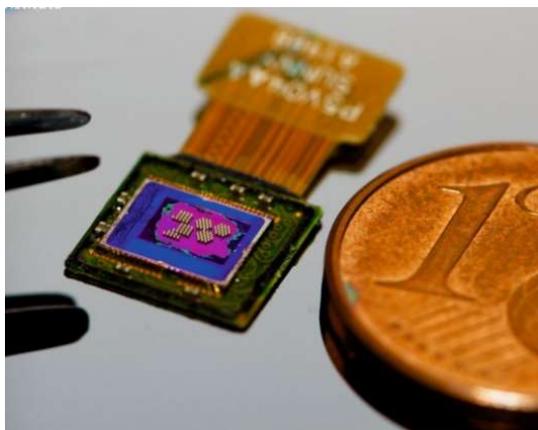
---

<sup>36</sup> vgl. (3ders.org, 2016)

## 2.9 Forschung und Entwicklung

### Mikro-Objektive

Die Universität Stuttgart hat in Zusammenarbeit mit dem Stuttgarter Zentrum für Photonic Engineering mittels 3D-Druck Mikro-Objektive gefertigt. Die Objektive bestehen aus mehreren optischen Linsen, die im Durchmesser kaum größer sind als ein menschliches Haar. Die Mikro-Objektive werden mit der Zwei-Photonen-Technologie erzeugt, wobei zwei Photonen auf flüssigen Fotolack geschossen werden und dort, wo sie auftreffen, wird der Fotolack hart. Mittels dieser Technologie können komplexe Ob-

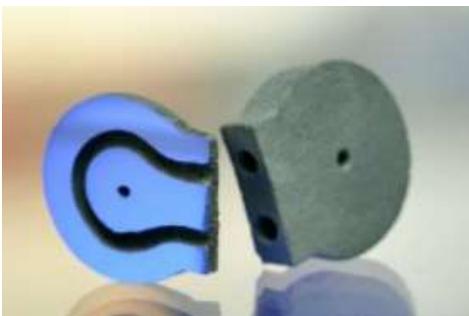


jektive mit verschiedenen Optiken hergestellt werden. Die Mikro-Objektive ermöglichen die Herstellung von kleinen Endoskopen und können für punktgenaue Beleuchtung in Mikro-LEDs eingesetzt werden. Die Herstellung von Mikro-Objektiven eröffnet neue Perspektiven in der Optikindustrie und künftig können die kleine Objektive bei Drohnen oder autonomen Robotern eingesetzt werden.<sup>37</sup>

Abbildung 34: 3D-gedruckte Mikro-Objektive (Quelle: 3druck.com)

### Hartmetallwerkzeuge

Im Maschinen- oder Fahrzeugbau werden Werkzeuge gefordert, die Wärmefestigkeit und Härte aufweisen können. Forscher am Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) haben komplexe Hartmetallwerkzeuge mit 3D-Druck



hergestellt, die hohe Qualität und Leistungsfähigkeit aufweisen. Das Fraunhofer IKTS entwickelt die Hartmetalle für Werkzeuge seit mehreren Jahren. Mit herkömmlichen Methoden war die Herstellung von komplexen Geometrien mit hohem Kosteneinsatz verbunden oder gar nicht realisierbar.

Abbildung 35: 3D-gedruckte Drahtziehdüse mit integriertem Kühlkanal (Quelle: Fraunhofer IKTS)

<sup>37</sup> vgl. (Uni Stuttgart, 2016)

Die Hartmetalle beinhalten den keramischen Hartstoff Wolframcarbid und eine Binde-matrix aus Kobalt und Nickel oder Eisen und weisen gute mechanische Eigenschaften auf.<sup>38</sup>

### Herz-Katheter-Pumpe

Heutige Herzpumpen verfügen meist über einen elektrischen Antrieb, der Wärme durch den Motor produziert, was zu einer Schädigung der Blutkörperchen führen kann. Die Firma Lithoz in Zusammenarbeit mit der TU Wien und MedUni Wien hat eine Herz-katheterpumpe entwickelt, die mit Heliumgas angetrieben wird. Die Herausforderung bestand in der Miniaturisierung der komplexen Geometrie, die aus biokompatiblen Werkstoffen besteht und dabei notwendige mechanische Eigenschaften aufweist. So



wurde die komplexe Herzpumpe entwickelt und mit dem LCM-Verfahren von Lithoz aus Aluminiumoxid hergestellt. Das 3D-Druckverfahren ermöglicht eine kosteneffiziente Prototypenentwicklung für derart komplexe medizinische Produkte.<sup>39</sup>

Abbildung 36: 3D-gedruckte Herzkatheter-Pumpe (Quelle: Lithoz)

<sup>38</sup> vgl. (Fraunhofer IKTS, 2016)

<sup>39</sup> vgl. (Lithoz, 2015)

### 3. FAZIT

Es vergeht heute kaum ein Tag, an dem nicht über neue Möglichkeiten und Entwicklungen im Bereich der additiven Fertigung berichtet wird. Derzeitige Anwendungen der 3D-Drucktechnologie haben großes Potenzial die Art und Weise zu verändern, wie Produkte entwickelt und hergestellt werden.<sup>40</sup> 3D-Druck ermöglicht heute schnelle Verfügbarkeit von Prototypen und Endprodukten mit komplexen Geometrien.<sup>41</sup> Die Technologie wird als „Industrielle Revolution“ bezeichnet und ermöglicht in naher Zukunft den Einsatz von unterschiedlichen Druckmaterialien in einem Herstellungsprozess, womit neue Bauteil- und Produkteigenschaften entstehen werden. Mittels 3D-Druck besteht die Möglichkeit Bauteile sowie Endprodukte nach Bedarf zu produzieren, wobei die damit verbundenen Kosten verringert werden können. Die schnelle Entwicklung der 3D-Produktion ist stark mit der Entwicklung von 3D-CAD-Systemen, 3D-Scannern, 3D-Datenquellen im Internet, 3D-Bibliotheken sowie der Weiterentwicklung von Werkstoffen und Anlagen verbunden. Zukünftig werden die bisher nicht ausgeschöpften Potenziale der additiven Fertigung Türen für weitere, bis dahin für nicht möglich gehaltene, Anwendungsszenarien öffnen.<sup>42</sup>

Dieser Bericht kann also nur den heutigen Stand widerspiegeln und wird mit voranschreitender Entwicklung des 3D-Drucks ein Update erhalten.

---

<sup>40</sup> vgl. (Leupold Andreas, Glossner Silke, 2016, S. V)

<sup>41</sup> vgl. (Gebhardt Andreas, Kessler Julia, Thurn Laura, 2016, S. V)

<sup>42</sup> vgl. (Gebhardt Andreas, Kessler Julia, Thurn Laura, 2016, S. 140)

## LITERATURVERZEICHNIS

- 3D Systems. (2016). *Tilke GmbH - Deutsches Architekturbüro spart Zeit und Geld und erweitert seinen Geschäftsbereich dank mehrfarbigen 3D-Drucken*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.3dsystems.com/node/919>
- 3ders.org. (2016). *US Air Force approves first-ever 3D printed parts for AWACS aircraft*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.3ders.org/articles/20160129-us-air-force-approves-first-ever-3d-printed-parts-for-awacs-aircraft.html>
- 3DION. (2015). *3DION realisiert mit Voxeljet den Druck von Repliken für den Hohen Dom zu Köln*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://3d-ion.de/3d-druck-in-der-denkmalpflege-patentag-fuer-die-foerderer-der-restaurierung-am-michaelportal/#more-1314>
- 3D-Varius. (2015). *Concert high-end electric violin*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <https://www.3d-varius.com/3dvarius-features/>
- Airbus APWorks GmbH. (2016). *Light Rider*. Abgerufen am 31. 01 2017 von <https://www.lightrider.apworks.de/>
- Airbus S.A.S. (2016). *Airbus tests high-tech concepts with an innovative 3D-printed mini aircraft*. Abgerufen am 31. 01 2017 von <http://www.airbus.com/newsevents/news-events-single/detail/airbus-tests-high-tech-concepts-with-an-innovative-3d-printed-mini-aircraft/#>
- BMW Group. (2014). *Maßgeschneiderte Montagehilfe aus dem 3D-Drucker*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0185382DE/maßgeschneiderte-montagehilfe-aus-dem-3d-drucker>
- Business Wire, Inc. (2017). *Aurora Flight Sciences and Stratasis Deliver World's First Jet-Powered, 3D Printed UAV in Record Time*. Abgerufen am 31. 01 2017 von <http://www.businesswire.com/news/home/20151109005240/en/>
- Cadimensions Inc. (2016). *Injection Molding with PolyJet Technology*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.cadimensions.com/blog/item/180-injection-molding-with-polyjet-technology>
- Composites Busch SA. (2016). *Medtech*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.compositesbusch.ch/medical/?lang=de>

- Daimler AG. (2016). *Mercedes-Benz Lkw setzt wegweisende Zukunftstechnologie ein: 3D-Druck: Lkw-Ersatzteile „on demand“ lieferbar*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Mercedes-Benz-Lkw-setzt-wegweisende-Zukunftstechnologie-ein-.xhtml?oid=12788778>
- Ernst & Young GmbH. (2016). *How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain?* Abgerufen am 12. 01 2017 von EY.com: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-3d-druck-studie-executive-summary/\\$FILE/EY-3d-druck-studie-executive-summary.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-3d-druck-studie-executive-summary/$FILE/EY-3d-druck-studie-executive-summary.pdf)
- Fertigung. (2016). *Safilo: Brillengestelle aus 3D-Druckern*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.fertigung.de/2016/11/safilo-brillengestelle-aus-3d-druckern/>
- Fraunhofer IKTS. (2016). *Komplexe Hartmetallwerkzeuge aus dem 3D-Drucker*. Abgerufen am 20. 02 2017 von [https://www.ikts.fraunhofer.de/de/press\\_media/press\\_releases/2016\\_9\\_komplexe\\_hartmetallwerkzeuge.html](https://www.ikts.fraunhofer.de/de/press_media/press_releases/2016_9_komplexe_hartmetallwerkzeuge.html)
- Frost & Sullivan. (2016). *Global Additive Manufacturing Market, Forecast to 2025 (MB74-10)*. Mountain View.
- Gebhardt Andreas, Kessler Julia, Thurn Laura. (2016). *3D-Drucken, Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM)*. München: Carl Hanser Verlag.
- Heart Research Institute. (2016). *Aussies pioneer new approach to mend broken hearts*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <https://www.hri.org.au/latest-news/december-2016/aussies-pioneer-new-approach-to-mend-broken-hearts>
- Leupold Andreas, Glossner Silke. (2016). *3D-Druck, Additive Fertigung und Rapid Manufacturing. Rechtliche Rahmen und unternehmerische Herausforderung*. München: Franz Vahlen GmbH.
- Lithoz. (2015). *Pneumatische Herz-Katheter-Pumpe aus Hochleistungskeramik*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.lithoz.com/de/referenzen/best-practice/>
- Materialise. (2016). *Adidas Futurecraft: The Ultimate 3D-Printed Personalized Shoe*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.materialise.com/en/cases/adidas-futurecraft-ultimate-3d-printed-personalized-shoe>
- Mcor Technologies. (2013). *Belgium Doctors Use Paper-Based 3D Printing to Reduce Surgical Times*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://mcor technologies.com/doctors-in-belgium-use-mcor-paper-based-3d-printing-to-dramatically-reduce-surgical-time/>

- Michigan Tech. (2015). *Bioprinting in 3D: Looks Like Candy, Could Regenerate Nerve Cells*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.mtu.edu/news/stories/2015/may/bioprinting-3d-looks-like-candy-could-regenerate-nerve-cells.html>
- Patent iNSIGHT Pro. (2014). 3D Printing. Technology Insight Report. An analysis of patenting activity around 3D-Printing from 1990-Current. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.patentinsightpro.com/techreports/0214/Tech%20Insight%20Report%20-%203D%20Printing.pdf>
- Roland Berger. (2013). Additive manufacturing. A game changer for the manufacturing industry? München: Roland Berger Strategy Consultants GmbH.
- Siemens AG. (2016). *Additive Manufacturing für Gasturbinen*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <https://www.siemens.com/customer-magazine/de/home/energie/strom-bringt-lebensqualitaet/additive-manufacturing-fuer-gasturbinen.html>
- Spiegel Online. (2012). *Frau erhält neuen Unterkiefer aus 3D-Drucker*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.spiegel.de/wissenschaft/medizin/knochenersatz-frau-erhaelt-neuen-unterkiefer-aus-3d-drucker-a-813885.html>
- Statista. (2015). Additive Fertigung - Statista-Dossier. Hamburg.
- Stratasys. (2008). *Fallstudien aus der Rüstungsindustrie*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.stratasys.com/de/resources/case-studies/defense/sheppard-air-force-base>
- Stratasys. (2013). *World's First 3D Printed Metal Gun*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <https://www.stratasysdirect.com/blog/worlds-first-3d-printed-metal-gun/>
- Stratasys. (2015). *Lamborghini beschleunigt und perfektioniert Automobiltechnik mit Stratasys 3D-gedruckten Prototypen und startklaren Teilen*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://blog.stratasys.com/de/2015/04/30/lamborghini-beschleunigt-und-perfektioniert-automobiltechnik-mit-stratasys-3d-gedruckten-prototypen-und-startklaren-teilen/>
- Uni Stuttgart. (2016). *3D Druck ermöglicht kleinste komplexe Mikro-Objektive*. Abgerufen am 20. 02 2017 von [https://www.uni-stuttgart.de/hkom/presseservice/pressemitteilungen/2016/049\\_optische\\_linsen.html?\\_\\_locale=en](https://www.uni-stuttgart.de/hkom/presseservice/pressemitteilungen/2016/049_optische_linsen.html?__locale=en)
- Voxeljet AG. (2011). *Giessereien*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.voxeljet.de/branchen/giessereien/>

Voxeljet AG. (2011). *Pumpenform*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.voxeljet.de/branchen/cases/pumpengehaeuse-ueber-sandguss/>

Voxeljet AG. (2011). *Antike wird Hightech*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.voxeljet.de/branchen/cases/restauration-mittels-3d-druck/>

Wake Forest. (2016). *Scientists Prove Feasibility of "Printing" Replacement Tissue*. Abgerufen am 20. 02 2017 von [http://www.wakehealth.edu/News-Releases/2016/Scientists\\_Prove\\_Feasibility\\_of\\_"Printing"\\_Replacement\\_Tissue.htm](http://www.wakehealth.edu/News-Releases/2016/Scientists_Prove_Feasibility_of_)

Wemhöner, N. (2005). *Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau. Dissertation*. Aachen: Technische Hochschule.

Wirtschaftswoche. (2016). *Jeder kann Waffen produzieren*. Abgerufen am 20. 02 2017 von <http://www.wiwo.de/technologie/gadgets/3d-drucker-jeder-kann-waffen-produzieren/14488346.html>