

Schule: Kolleg St. Thomas
Dominikanerweg 45
49377 Vechta

Schuljahr: 2015/2016
Fachlehrer: Marc Richter

Einfluss des 3D-Druckes auf unseren Alltag

von

David Bailey

Ausgabetermin des Themas: *22.12.2015*

Abgabetermin der Arbeit: *20.02.2016*

Die Facharbeit wurde eingereicht am _____

(Unterschrift des Schülers)

(Unterschrift des Lehrers)

Erteilte Note: _____

Punkte: _____

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Momentaner Zustand des 3D Druckes | 4 |
| 2.1 | Aktueller technischer Stand | 4 |
| 2.1.1 | Fused Deposition Modeling (FDM): | 4 |
| 2.1.2 | Stereolithographie (SLA) | 5 |
| 2.1.3 | MultiJet Modeling (MJM) | 5 |
| 2.1.4 | Selektives Lasersintern (SLS), Selektives Laserschmelzen (SLM) und Selektives Elektronenstrahlschmelzen (SEBM) | 6 |
| 2.2 | 3D Druck in der Industrie | 7 |
| 2.3 | Medizinischer Gebrauch | 8 |
| 2.3.1 | Prothesen | 8 |
| 2.3.2 | Entwicklung | 8 |
| 2.3.3 | Training | 8 |
| 2.4 | Privatgebrauch | 9 |
| 3 | Aktuelle Forschung und Entwicklung | 10 |
| 3.1 | Multimaterialdruck | 10 |
| 3.2 | Metall-Jetting | 10 |
| 3.3 | Mikro-3D Druck | 11 |
| 3.4 | Hochtemperatur-Keramik | 11 |
| 3.5 | Gedruckte Medizin | 11 |
| 3.6 | 10-Material Biodrucker | 12 |
| 3.7 | Autonome Fabrikation | 12 |
| 4 | Zu erwartende künftige Auswirkungen | 13 |
| 4.1 | Industrie | 13 |
| 4.2 | Medizin | 14 |
| 4.3 | Privatgebrauch | 15 |
| | Literatur | 16 |

1 Einleitung

Diese Facharbeit befasst sich mit der Frage, in wie fern sich die Weiterentwicklung von verschiedenen 3D Druck Technologien auf unseren generellen Alltag auswirken wird. Ich finde dass dieses Thema in den nächsten Jahren eine wachsende Bedeutsamkeit besitzen wird. Daher habe mich deshalb dazu entschlossen mithilfe dieser Facharbeit einen Überblick über die vermutlichen Änderungen zu geben.

Hierbei werde ich mich nicht auf einige spezifische Technologien beziehen, sondern vielmehr unter dem Gesamtbegriff “3D Druck” nach Quellen suchen bzw. Themen verfassen. Auf die einzelnen wichtigsten Verfahren soll jedoch kurz eingegangen werden.

Die Facharbeit ist grob in drei Teile unterteilt:

- Eine Darstellung der momentanen Situation des 3D Druck. Dies dient dazu um später die Vorhersagen mit der jetzigen Situation vergleichen zu können, und um den Leser besser auf das Thema vorzubereiten.
- Einer Zusammenfassung der momentanen Neuerungen und Forschungen. Hierdurch soll aufgezeigt werden, womit in einigen Jahren schon zu rechnen ist, und dient als Fundament für das folgende Kapitel. Es soll dort der Trend der Entwicklung, und die Möglichkeiten die 3D Druck bieten wird, aufzeigen.
- Einem abschließenden Rückblick auf die Anfangs erläuterte momentane Situation. Hier soll basierend auf Quellen und dem vorherigen Kapitel eine Vorhersage getroffen werden soll, in wie fern die verschiedenen genannten Bereiche durch den 3D Druck beeinflusst werden.

Die Arbeit stützt sich hierbei auf Internet-Recherche. Dieses ist erforderlich, da es zum Thema viele sehr aktuelle Neuigkeiten gibt. Bücher zum Thema sind bisher noch nicht verfügbar, und etwaige andere Quellen wie z. B. Zeitungen beinhalten nur wenige neue Informationen. Eine genaue Liste der verwendeten Quellen kann im Literaturverzeichnis gefunden werden. Quellen mit genauer Autor- und Datumsangabe wurden bevorzugt.

2 Momentaner Zustand des 3D Druckes

Der 3D Druck ist erst seit einigen Jahren als Konzept bekannt geworden. Zwar existierte das Prinzip des 3D Druckens schon seit mehreren Jahren, um genauer zu sein seit 1983 (PONSFORD und GLASS 2014), jedoch waren Verwendungsmöglichkeiten und Forschung wegen eines im Jahre 1986 erstellten Patentes bis vor kurzem weitgehend eingeschränkt.

Seit einigen Jahren arbeiten Industrie und Forschung an immer besser werdenden, schneller arbeitenden 3D Druckern. In diesem Kapitel wird aufgeführt, wie die jetzige Situation der Technologie aussieht, und wo und wie sie verwendet wird.

2.1 Aktueller technischer Stand

Im 3D Druck kann auf sehr viele verschiedene Arten und Weisen ein Modell gedruckt werden und auch die einzelnen Verfahren an sich können sich untereinander stark unterscheiden. Deshalb soll hier auf die vier¹ wichtigsten Verfahren eingegangen werden:

2.1.1 Fused Deposition Modeling (FDM):

FDM ist die momentan am weitesten bekannte und für Privatpersonen oder Kleinunternehmen geeignetste 3D Druck-Methode. Durch das sehr simple Verfahren können auch schon mit billigen 3D Druckern im Wert von etwa 700**EUROEZEICHEN** (bei Selbstbau-Modellen teils weniger) gute Ergebnisse erzielt werden, jedoch gibt es auch einige Nachteile des FDM.

Bei dieser Variante des 3D Druck wird ein Plastik-Filament, meistens PLA oder ABS, mithilfe eines Motors durch eine beheizte Düse gepresst. Das geschmolzene Plastik wird nun auf die Druckunterlage bzw. das bereits Gedruckte in der gewünschten Form aufgetragen und erstarrt dort. Dies wird schichtweise so lange wiederholt bis das endgültige Modell fertig ist. Gedruckt wird hierbei meist nur ein, bei einigen Modellen mit mehreren Düsen zwei oder mehr Material, welches als Filament-Strang von einer Rolle abgewickelt werden kann.

Das verhältnismäßig simple Verfahren erlaubt für den Bau kostengünstiger 3D Drucker welche oftmals in Selbstbauweise gebaut, repariert und gewartet werden können. Beispiele für diese “Selbstbau-3D-Drucker” kann man auf der Seite <http://reprap.org/> finden.

Vorteilhaft am FDM Verfahren ist ebenfalls eine breite Menge an kostengünstigen Materialien, welche sich zum Drucken eignen. So kann z. B. mit PLA, ABS, HIPS, PVA, Nylon, PET, PETT, PC und TPE (*3D Printer Filament Types Overview* 2015) ohne Umbau oder Änderung der Hardware gearbeitet werden, lediglich die Temperatur muss angepasst werden.

Jedoch hat FDM auch seine Nachteile. Durch das schichtweise aufbauende Verfahren hat das Modell klar getrennte sichtbare “Schichtungen”, und zudem werden dadurch kleinere Details womöglich nicht korrekt wiedergegeben. Ebenso dauert der Druck durch die wiederholten Bewegungen des schweren Druckkopfes vor allem bei hoher Genauigkeit sehr lange. Viele Drucker brauchen eine korrekte Feinjustierung der Einzelteile bevor brauchbare Stücke gedruckt werden können. Außerdem gibt es einige materialbedingte Probleme. So können sich Bauteile während oder nach des Druckens durch unterschiedlich schnelles

¹Persönliche Einschätzung des Autors

Abkühlen verziehen. Will man z. B. eine steile Kante oder einen sog. Überhang, also eine Stelle ohne Stützen oder darunterliegendes Material drucken, so kann es oftmals dazu kommen, dass das noch flüssige Material an dieser Stelle herunter hängt oder der Druck ohne zusätzliches Stützmaterial, welches nach dem Druck von Hand entfernt werden muss, nicht möglich ist (Informationen aus: PAUL 2015a; PAUL 2015c).

2.1.2 Stereolithographie (SLA)

Die Stereolithographie ist eine alternative Technologie zur Erstellung von 3D Modellen, welche mit hohem Detail und hoher Geschwindigkeit arbeiten kann. Jedoch sind die Modelle lichtempfindlich, und das Ausgangsmaterial ist um ein vielfaches teurer als bei anderen Varianten.

Beim SLA Verfahren wird, anders als bei anderen Möglichkeiten, mit einem bei Raumtemperatur flüssigem Kunstharz gearbeitet, welches sich in einem Becken befinden. Dieses Kunstharz wird mithilfe eines starken UV-Lasers an den gewollten Stellen gehärtet. Dabei wird, ähnlich wie beim FDM Verfahren, schichtweise gearbeitet.

Ist eine Schicht des Objektes fertig, so wird entweder der Träger auf dem sich das Modell befindet ein Stück weiter aus dem Kunstharz heraus gezogen (hierbei trifft der Laser von unten durch eine durchsichtige Platte auf das Kunstharz) oder eine kleine Menge Harz hinzu gegeben, sodass das Modell konstant mit einer Schicht dieses Materials bedeckt ist (hierbei trifft der Laser von oben auf das Harz).

Ist das Modell fertig kann es aus dem Harz entnommen werden, muss allerdings oftmals noch mithilfe eines UV-Schranks weiter gehärtet werden, um die Stabilität des Modells zu gewährleisten.

Von Vorteil ist, dass die Modelle mit hoher Präzision gedruckt werden können da der Laser quasi unbegrenzt fein sein kann, wodurch kaum noch das Objekt nachbearbeitet werden muss. Höchstens die für Überhänge nötigen Stützstrukturen müssen entfernt werden, diese können jedoch oftmals um ein Vielfaches kleiner sein, da das Modell während des Druckes vom Kunstharz umgeben ist welches die gleiche Dichte besitzt, und so “in der Schwebe” gehalten wird.

Nachteile des SLA sind allerdings vor allem die hohen Kosten des Kunstharzes, sowie die verbleibende Lichtempfindlichkeit des Modells, welche bei übermäßigem Lichteinfall zu Sprödigkeit führen kann (Informationen aus: PAUL 2015c).

2.1.3 MultiJet Modeling (MJM)

Das MultiJet-Modeling kann als Kombination von SLA und FDM angesehen werden. Es arbeitet mit einem anfangs festen, wachsähnlichem Material, welches wie beim FDM geschmolzen und danach auf die vorherige Schicht aufgetragen wird. Allerdings wird das Plastik nun, wie beim SLA, mithilfe einer UV-Lampe gehärtet um die Stabilität zu erhöhen. Somit können Teile mit hoher Präzision schnell und kostengünstig hergestellt werden. Die meisten 3D Drucker mit MJM Verfahren sind sehr teuer, und sind dadurch nur für größere Unternehmen lohnenswert.

Wie bereits erwähnt ist MJM eine Kombination aus sowohl FDM und SLA. Ein festes, schmelzbares Thermoplast oder Hartwachs wird im Druckkopf in der gewünschten Menge geschmolzen. Nun wird das flüssige Material mithilfe von mehreren Düsen auf die vorherige

Schicht aufgetragen und mit einer kleinen Walze zu einer einheitlichen Schicht geglättet. Diese neue Schicht wird anschließend mit einer starken UV-Lampe gehärtet. Wie auch bei den anderen Verfahren wird dies Schichtweise durchgeführt bis das Endmodell fertig ist. Durch Verwendung mehrerer Materialien mit unterschiedlichen Schmelzpunkten (z.B. einem Wachs) ist es sogar möglich, Stützstrukturen zu drucken, welche sich durch leichtes Aufwärmen erneut verflüssigen. Hierdurch kann die Produktion eines 3D-Modells komplett automatisiert werden, ohne dass ein menschliches Eingreifen notwendig ist.

Sehr vorteilhaft an diesem Verfahren ist die hohe Geschwindigkeit, mit der Modelle gedruckt werden können. Da der Druckkopf mehrere Düsen besitzt kann mehr Material gleichzeitig aufgetragen werden, ohne dabei die Qualität des Modells zu beeinflussen. Auch können die Modelle dank sehr feiner Düsen mit sehr hoher Präzision gedruckt werden. Da die Stützstrukturen aus einem wachsähnlichen Material gefertigt werden, können diese durch leichtes Erwärmen entfernt werden. Theoretisch könnte auch das gesamte Modell aus Wachs gedruckt werden, und eignet sich dadurch als Gießmodell für ein Metallobjekt.

Einzigster Nachteil dieser Technologie ist der hohe Preis bzw. die geringe Verfügbarkeit der Materialien und Drucker, welche momentan nur von einigen wenigen Firmen hergestellt werden (Informationen aus: PAUL 2015c; *Multi Jet Modeling* 2015).

2.1.4 Selektives Lasersintern (SLS), Selektives Laserschmelzen (SLM) und Selektives Elektronenstrahlschmelzen (SEBM)

Alle drei aufgeführten Verfahren arbeiten auf eine ähnliche Funktionsweise, bei der ein pulverförmiger Feststoff mithilfe eines (Laser)Strahls zusammengeschmolzen wird. Aus diesem Grund wird hier nur das Selektive Lasersintern (SLS) beschrieben.

Beim SLS wird zuerst ein pulverförmiges Material dünn auf entweder die Basisplatte oder die vorherige Schicht aufgetragen und mithilfe einer Walze geglättet. Hierbei kann das Material theoretisch alles sein, sofern es als feines Pulver vorliegt und der Schmelzpunkt erreicht werden kann. Nun wird das Pulver an den gewollten Stellen mithilfe eines starken Lasers geschmolzen (SLM) oder gesintert (SLS, d.H. ein Bindemittel bzw die Oberfläche des Pulvers wird angeschmolzen um die Pulverkörner miteinander zu verkleben). Vorteilhaft beim Schmelzen des gesamten Pulvers ist ein festeres Endmodell, dies erfordert jedoch auch eine höhere Temperatur wodurch der Druckvorgang verlangsamt wird. Dieser Vorgang wird nun mit jeder Schicht wiederholt, wobei sich die individuellen Schichten ebenfalls miteinander verbinden, bis das fertige Modell entstanden ist. Will man das Objekt entnehmen, so muss man vorher das Pulver entfernen. Dies geschieht meistens automatisch von der Maschine selbst, jedoch kann ein feiner Staub zurück bleiben welcher selbst noch entfernt werden muss. In industriellen Applikationen befindet sich der Drucker meist in einer Vakuumkammer. Dies verhindert Verunreinigungen durch sich in Luft befindliche Partikel und sorgt für eine höhere Reinheit des Modells.

Vorteilhaft an dieser Methodik ist die Verwendbarkeit von quasi jedem pulverförmigem Material. Mithilfe von SLS bzw. SLM können Plastik, Metalle und sogar Keramik problemlos gedruckt werden. Auch die Qualität ist eine der höchsten aller Verfahren, mit Schichtdicken von nur 20 Mikrometern. Auch müssen keinerlei Stützstrukturen verwendet werden, da das gesamte Modell vom Pulver umgeben und gestützt wird. Durch das Zusammenschmelzen des Stoffes ist bei Metallen das Endmodell in der Stabilität vergleich-

bar mit gegossenem Metall, und bei Kunststoffen können während des Druckens Farben hinzugegeben werden, um beliebig eingefärbte Drucke zu produzieren.

Allerdings hat dieses Verfahren auch seine Nachteile. Das Pulver, welches verwendet wird, ist durch seine Feinheit gefährlich für Menschen und es muss sehr vorsichtig mit dem Material umgegangen werden. Zusätzlich sorgt dieses Pulver auch für eine umständliche Entsorgung, welche mit teuren Filteranlagen realisiert werden muss. All dies sorgt dafür, dass diese Verfahren eine der komplexesten und teuersten sind, und deshalb nur für Industrie nützlich sind (Informationen aus: PAUL 2015c; PAUL 2015b).

2.2 3D Druck in der Industrie

Bis jetzt war der 3D Druck nur wenig in der eigentlichen Industrie vertreten. Oftmals werden die langsamen Geräte zum Rapid Prototyping verwendet da sie kostengünstiger neue Prototypen herstellen können als andere Verfahren, finden allerdings nur selten ihren Weg in die Produktion größerer Konzerne. Jedoch finden vor allem SLS 3D Drucker ihren Platz in der Herstellung hoch komplexer Teile, die mit herkömmlichen Verfahren zu komplex gewesen wären.

Bestes Beispiel dieser 'exzentrischen' Nische in der sich 3D Drucker wiedergefunden haben sind die Kooperationen zwischen Airbus und Rolls-Royce, sowie der 3D Druck Firma Stratasys: Der Großkonzern will über 1.000 Teile des Airbus A350 mithilfe von 3D Druckern herstellen lassen. 2015 wurde das erste Triebwerk mit einem der größten 3D gedruckten Teilen jemals erfolgreich getestet und geflogen. Das 3D gedruckte Frontlagergehäuse wurde mithilfe eines SEBM Druckers aus Titan gefertigt, war 1.5m im Durchmesser, und reduzierte die Produktionszeit um beinahe 30%, während zusätzlich Kosten und Funktion des Teiles optimiert wurden. Dieses Laufwerk, die "Trent XWB-97" sei mit ca. 44 000kg Schubkraft eine der stärksten Flugzeugtriebwerke, welche jemals hergestellt wurden, laut MOLITCH-HOU (2015e). Das Triebwerk soll schon 2017 serienmäßig in den A350-1000 eingebaut werden, und wurde bisher an 41 Käufer verkauft, womit es eine der meist verkauften Triebwerke bisher gilt.

3D Druck findet sich allerdings nicht nur in der Luftfahrt. Der Fahrzeughersteller "Local Motors" hat sich dafür entschieden mithilfe von 3D Druck den Entwicklungsprozess neuer Autos von 6 Jahren auf nur 4 Monate herunter zu bringen. 3D Drucker würden hierbei eine schnelle Änderung der Form, des Materials oder anderer Eigenschaften erlauben, welches Produktionszeiten eines Prototypen signifikant senken könnten (MOLITCH-HOU 2015d). Diese eindeutige Verbesserung der Entwicklungszeit durch 3D Drucker findet man auch in anderen gebieten. So können nun kleine Modelle, welche vorher 500**EUROEZEICHEN** kosteten, durch eine externe Firma gefertigt wurden und erst nach mehreren Tagen geliefert wurden für weniger als 15**EUROEZEICHEN** direkt am Arbeitsplatz in nur wenigen Minuten produziert werden (STRATASYS 2016a). Diese deutliche Beschleunigung des Prototypingprozesses sorgt für einen schnelleren Entwicklungsprozess insgesamt, und sorgt so im Endeffekt für besser gefertigte und getestete Modelle in einer kürzeren Zeitspanne.

Momentan spielt 3D Druck in der eigentlichen Industrie noch keine Rolle. Anwendung findet er jedoch jetzt schon für die Produktion von komplexen Einzelteilen bzw. Kleinserien, und greift auch jetzt schon in den Produktionsprozess ein, als ein Mittel um die

Entwicklung neuer Teile um ein Vielfaches zu beschleunigen.

2.3 Medizinischer Gebrauch

Ein Gebiet in dem der 3D Druck auch jetzt schon eine sehr große Bedeutung besitzt ist die Medizin. In kaum einem anderen Anwendungsgebiet ist die Flexibilität eines 3D Druckers so gefragt: jeder Patient hat seine eigenen Ansprüche, jeder Körper ist unterschiedlich, und benötigt deshalb angepasste, individuelle Teile. Bevor es 3D Drucker gab mussten diese entweder teuer produziert und verarbeitet werden lassen, und selbst hier gab es Einschränkungen, die wichtigste davon die Zeit in der die Teile gebraucht werden. Mit 3D Druckern jedoch lässt sich so gut wie jede Form in jedem Material drucken, Teile sind in nur wenigen Stunden, nicht Tagen, verfügbar.

2.3.1 Prothesen

Beispiele für die Verwendung von 3D Druckern im medizinischen Bereich gibt es jetzt schon. So wurde einem 18-Monate altem Kind, Garrett Peterson, zwei speziell angefertigte gedruckte Schienen für seine Luftröhre eingesetzt. Garrett litt an einer Krankheit welche seine Luftröhre destabilisiert hatte, wodurch diese in sich zusammenfallen konnte. Um diesem entgegenzuwirken entschieden sich seine Ärzte zu einer neuartigen Maßnahme. Sie fertigten ein digitales Modell der Luftröhre an, und entwickelten basierend auf dem Modell zwei spezielle Schienen, welche um sie gelegt werden konnten um sie so offen zu halten. Die Schienen wurden mithilfe eines SLM Druckers und einem speziellen Kunststoff angefertigt. Die Operation verlief erfolgreich, und laut den Ärzten würde Garrett nach wenigen Monaten schon aus dem Krankenhaus entlassen werden können (ERICSON 2014).

2.3.2 Entwicklung

3D Druck hat allerdings nicht nur direkt in der Medizin Einfluss. Auch die Produktion medizinischer Teile, vor allem in Entwicklungsländern, wird mithilfe des 3D Druck um ein Vielfaches gesenkt. Wichtige medizinische Versorgung wird kann so besser auch für die ärmeren Länder zur Verfügung gestellt werden. So hat sich z. B. die Firma *“Cardiac Design Labs”* dazu entschieden ein kostengünstiges, mobiles EEG Gerät für vor allem die armen Gebiete in Indien her zu stellen. Grund dafür ist die schlechte Versorgung der Indischen Bevölkerung, vor allem für Herz- und Kreislauferstörungen. Schätzungen gehen davon aus dass 26% aller Tode durch Herzfehler hervorgerufen werden. 3D Druck half hierbei sehr stark bei der schnellen Entwicklung und Produktion der neuen Geräte aus. Die gedruckten Modelle waren weitaus stärker, genauer und fester als die vorher von einer Zweitfirma gelieferten Prototypen, und konnten zudem billiger und schneller hergestellt werden. Dies sorgte dafür dass die Entwickler früher als erwartet in die erste Beta-Testphase gehen konnten. Auch hier halfen 3D Drucker als eine billigere und schnellere Alternative zur Produktion der Einzelteile aus. (STRATASYS 2016c)

2.3.3 Training

Ein Gebiet in dem die Vorteile des 3D Druckes ebenfalls gut sichtbar sind ist die Erstellung von möglichst realistischen Dummies zum üben und Trainieren von lebensrettenden

Maßnahmen. Eine dieser Maßnahmen ist der Umgang mit Patienten, dessen Atmung eingeschränkt oder blockiert ist.

Realistische, Körper-getreue Modelle sind sehr kompliziert zu produzieren, und dementsprechend schlecht verbreitet. Laut einer Studie im Juni 2012 sei die Anatomie der Trainingsdummys nicht passend geformt, und würde den Aufbau echter Patienten nicht korrekt wiedergeben. Diese Fehler hätten einen negativen Einfluss auf das Training. Abhilfe kann hierbei die Produktion von Dummys mithilfe von 3D Druckern sein. So entschied sich die *“University of Minnesota Medical School”* dazu, mithilfe von MRI-Scans echter Patienten ein möglichst getreues 3D Modell der einzelnen Organe zu erstellen. Dieses Modell konnte später mithilfe eines 3D Druckers in Einzelteilen hergestellt werden. Sehr hilfreich war dabei die Möglichkeit des Druckers, mit verschiedenen Materialien zu drucken. Dies erlaubte es den Entwicklern, bestimmte Teile wie z. B. die Wirbelsäule aus verschiedenen biegsamen Materialien zu fertigen, um die Beweglichkeit besser zu simulieren.

Das Endergebnis dieses Prozesses ist einer der laut Jack Stubbs, Leiter des Projektes an der Universität, realistischsten Trainingsdummys. Bald soll die Produktion solcher realistischen Dummys in Serie gehen, wobei 3D Druck eine wichtige Rolle im Prozess spielen soll. Die neuen Dummys können so ein akkurates Training geben, und verbessern damit die Überlebenschancen für Personen mit Atemwegsbeschwerden und -Problemen in Notfallsituationen (STRATASYS 2016b).

2.4 Privatgebrauch

Eines der Gebiete in dem eine der größten Änderungen vorkommen wird ist der Privatgebrauch, bzw. für Kleinfirmen: 3D Drucker erlauben diesen (Einzel)Personen ein schnelles, kostengünstiges Herstellen eigener Teile. Dies wäre sonst nur mit teuren Geräten und über langsam laufende Prozesse möglich, und wäre dadurch mit sehr hohen Kosten für Einzelteile verbunden. 3D Drucker hingegen können auf Wunsch ein beliebiges Modell in kurzer Zeit und nur mit Strom- und Materialkosten drucken, und sind dadurch für Kleinserien oder Einzelteile um ein vielfaches günstiger.

Jedoch ist die momentane Technologie noch sehr unausgereift. Hauptsächlich FDM ist kostenmäßig für Einzelpersonen lohnenswert, dies ist jedoch eine der langsamsten Technologien. Zudem ist selbst hierbei der Preis meist noch relativ hoch: Gute Modelle sind ab etwa 500**EUROEZEICHEN** laut BAGULEY (2016) käuflich, für weniger muss man mit Einbußen bei Geschwindigkeit, Druckgröße und Präzision rechnen. Eine Ausweichmöglichkeit wäre der Selbstbau eines Druckers, mit dem Kosten auf ca. 350**EUROEZEICHEN** bei gleichbleibender Qualität gesenkt werden können. Dies jedoch erfordert Wissen und Erfahrung mit der Technik, da oftmals Fehler auftreten können welche manuell behoben werden müssen².

Zudem ist der Nutzen für die meisten Menschen kaum groß. Oftmals können bestimmte Dinge aus einem Laden gekauft werden, oder individualisierte Teile werden nur sehr selten benötigt. Sollte nun ein Modell gedruckt werden, so gibt es Dienste, welche dieses Drucken übernehmen können. Zwar ist dies teurer als das Drucken mit eigenen Geräten, man braucht hierfür jedoch selbst keinen Drucker. So lohnt sich für viele Menschen die Anschaffung eines 3D Druckers noch nicht (Informationen aus: HOFFMAN 2015).

²Informationen bezogen aus eigener Erfahrung

3 Aktuelle Forschung und Entwicklung

3D Drucker sind bisher kaum an die Grenzen des Möglichen gestoßen. Durch Patentrechte und fehlendes Interesse der Industrie an der Entwicklung von Druckern wurden viele Technologien noch kaum erforscht. Dies jedoch beginnt sich langsam zu ändern: Die Wichtigkeit des 3D Druckes steigt rapide an, und dementsprechend auch damit verbunden die Geschwindigkeit der Erforschung neuer Systeme. Was für neue Technologien in letzter Zeit entwickelt wurden bzw. woran momentan gearbeitet wird, soll hier genauer erläutert werden.

3.1 Multimaterialdruck

Etwas, das bis heute mit herkömmlichen Verfahren nicht möglich ist, ist die Produktion eines in einem Fertigungsdurchgang hergestelltem Bauteiles aus mehreren Materialien, wie z. B. festen, biegsamen, leitfähigen oder durchsichtigen Stoffen. Dies jedoch könnte bald schon mit dem *ElectroUV3D* von “*ChemCubed*” möglich werden. Ihr neuer Drucker ist mithilfe eines MJM-Verfahrens mit verschiedenen Ausgangsmaterialien in der Lage, komplexe Produkte herzustellen.

Ein Beispiel einer (sehr simplen) Anwendungsmöglichkeit zeigte die Firma mithilfe eines LED-Lichtes: Sie konnten die Unterseite aus einem Stück drucken, wobei sie aus einem festen Stoff mit in die Platte eingesetzten Leiterbahnen gefertigt wurde. Nachdem LED und Batterie eingesetzt wurden konnte der Drucker eine biegsame Oberseite aufdrucken, wobei auch hier Leiterbahnen eingesetzt wurden. Das Endergebnis war eine in einem Durchgang hergestellte und komplett funktionsfähige Taschenlampe.

Solche Multimaterial-3D Drucker könnten schon bald in der Produktion von komplexen elektronischen Teilen oder speziellen Bauteilen mit verschiedenen, selektiven Eigenschaften (z. B. biegsame Elektronik) Anwendung finden, da vergleichbare Ergebnisse nur mit mehreren komplexen Produktionsschritten realisierbar sind (MOLITCH-HOU 2015c).

3.2 Metall-Jetting

Metall-3D Druck ist zwar heutzutage möglich, benötigt allerdings gesundheitsschädliche extrem feine Metallpulver, und die erstellten Modelle müssen oftmals nach bearbeitet werden. Aus diesem Grund hat sich die Firma “*XJet*” dazu entschieden den Prozess zu vereinfachen.

Anstelle eines feinen Metallpulvers, welche mithilfe eines Lasers geschmolzen wird, funktioniert das XJet-System mehr wie ein MJM Drucker: Eine spezielle, mit Metall angereicherte Flüssigkeit wird schichtweise aufgetragen. Hierdurch ist eine hohe Präzision möglich, ohne dabei Material unnötig zu verbrauchen, und ohne dass schädliche feine Metallpulver nach dem Druckvorgang entsorgt werden müssen.

Ähnlich wie die Mikro-3D Druck-Teile können diese so hergestellten feinen Modelle vor allem in der Medizin Verwendung finden, könnten allerdings auch in der generellen Produktion von feinen Bauteilen für Verschiedenes eine hohe Wichtigkeit besitzen (SHER 2015b).

3.3 Mikro-3D Druck

Momentan besitzen viele 3D Drucker nur eine begrenzte Präzision, Oberflächen oder feine Details können meist nicht perfekt abgebildet werden. Oftmals sind allerdings bestimmte feine Details wichtig und müssen so präzise wie möglich hergestellt werden. Um dies zu erlauben hat die “Vienna University of Technology” ein System entwickelt, welches Details im Bereich von wenigen Mikrometern erlaubt. Das System funktioniert mithilfe eines speziellen SLS-Polymeres, welches von zwei Lasern gleichzeitig getroffen werden muss um aus zu härten. Hierdurch kann um ein Vielfaches besser kontrolliert werden an welchen Stellen das Polymer aushärtet.

Verwendung findet das Verfahren hauptsächlich in der Biomedizin, wo es benutzt werden kann um mikroskopisch kleine Implantate zu drucken, welche z. B. beschädigtem Gewebe beim Wachstum helfen könnte (COXWORTH 2012).

3.4 Hochtemperatur-Keramik

Viele 3D gedruckte Modelle bestehen aus Materialien mit niedrigem Schmelzpunkt, z.B. Plastik oder weichen Metallen. Dies wirft für bestimmte Anwendungsgebiete Probleme auf, da die Modelle teils höheren Temperaturen standhalten müssen. Zur Lösung dieses Problems hat nun letztens die Firma “HRL Laboratories” ein neues Verfahren zur Herstellung Temperatur-beständiger Keramiken bekannt gegeben. Die Modelle werden mithilfe eines Prä-Keramik-Polymeres in einem SLS-ähnlichen Verfahren erstellt, müssen allerdings nach der Fertigung in einen Ofen um gebacken zu werden.

Die so gedruckten Modelle sind bis zu 1 400 **GRADZEICHEN** beständig, wodurch sie resistenter sind als die meisten Metalle, und sind zudem leichter und verbiegen sich nicht bzw. werden bei hohen Temperaturen nicht weich.. Dieses Material könnte, durch die hohe Stabilität auch bei hohen Temperaturen, vor allem in der Luft- und Raumfahrt wichtige Applikationen haben, bei dem Teile auch bei extremer Belastung noch zuverlässig arbeiten müssen (KOSLOW 2016).

3.5 Gedruckte Medizin

Ein überraschendes Anwendungsgebiet für 3D Drucker wäre die Herstellung spezieller Tabletten für die besonders schnelle Einnahme lebensrettender Chemikalien. Die meisten momentan verwendeten Tabletten müssen entweder aufgelöst oder im ganzen geschluckt werden, beides kann Zeit brauchen oder ist in einer Notfallsituation nicht leicht möglich. Um dieses Problem zu umgehen hat die pharmazeutische Firma “Aprecia” nun ein neues Konzept entwickelt, mithilfe der schnell lösliche Medizin mit hoher Wirkstoffkonzentration hergestellt werden kann.

Die Pillen werden ähnlich wie beim SLS Verfahren mithilfe eines feinen Pulvers aufgebaut, jedoch werden die “Spritam levetiracetam” genannten Tabletten nicht mit einem Laser sondern mit einem Tropfen Flüssigkeit zusammen gebunden. Das entstehende Produkt ist eine genau abgemessene und vor allem poröse Tablette. Durch diese poröse Struktur löst sich die Pille beinahe vollständig in nur wenigen Sekunden und mit wenig Flüssigkeit auf, und kann dadurch eine hohe Dosis des Wirkstoffes schnell an den Patienten liefern (MOLITCH-HOU 2016).

3.6 10-Material Biodrucker

Vermutlich eines der wichtigsten Forschungsgebiete des 3D Druckes ist der Bio-3D Druck. In Zukunft könnten bald schon Spenderorgane mithilfe spezieller Systeme von eigenen Zellen gedruckt werden. Dies würde Spendersuche unnötig machen, Risiken minimieren und Kosten senken. Diesem Ziel ist die Firma “*Ourobotics*” mit ihrem neuen 10-Material 3D Biodrucker um ein Vielfaches näher gekommen.

Ihr neuer Drucker verwendet nicht eine fest angebrachte Material-Patrone, sondern kann autonom zwischen einer Vielzahl von Patronen mit verschiedenen Materialien wechseln. Zudem besitzt der Drucker keine einfache Druckfläche, sondern einen beheizten Wassertank, welcher In-Vitro Zustände simulieren kann um somit die Lebensdauer der gedruckten Zellen zu verlängern. Zudem arbeitet der Drucker mit einem Gel-Material, welches so gut wie jede Art von biologischem Material enthalten könnte. Somit könnte schon bald simples Gewebe wie z. B. Muskeln hergestellt werden, theoretisch sogar ganze Organe (SHER 2015c).

3.7 Autonome Fabrikation

Ein wichtiges Problem beim Einbau von 3D Druckern in die Industrie ist die Autonomie der Maschinen. Die meisten momentanen 3D Drucker müssen regelmäßig von Fachpersonal überprüft, kontrolliert, gereinigt etc. werden, welches einen kompletten Einbau in die Serienproduktion unwirtschaftlich macht. Aus diesem Grund hat sich Firma “*MetalFAB*” an die Entwicklung eines autonomen Metalldruckers gesetzt.

Ihr momentanes Design, der *MetalFAB1* soll laut Angaben des Herstellers zehn mal zuverlässiger, flexibler und produktiver sein. Der Drucker ist dabei so aufgebaut dass alles, vom anfänglichen SLS bis hin zum Brennen des Modells, vom System automatisch übernommen wird. Zusätzlich besitzt der Drucker mit 420x420x400mm eine der größten Bauflächen der momentan verfügbaren Systeme, und kann dementsprechend große Teile herstellen. Ebenfalls besitzt er vier anstatt nur einen Laser, wodurch die Druckgeschwindigkeit um ein Vielfaches gesteigert wird. Dieses System soll so den Einbau eines 3D Druckers in die Produktionskette der Industrie, vor allem für komplexe oder individuelle Teile, wirtschaftlich machen (MOLITCH-HOU 2015b).

4 Zu erwartende künftige Auswirkungen

Es steht mittlerweile außer Frage dass 3D Druck einen gravierenden Einfluss auf unser Leben hat und haben wird. Viele neue Technologien sind schon in der Entwicklung, und sind kurz davor für die Industrie verfügbar zu sein. Viele Konzerne planen bereits 3D Druck in der Produktion an zu wenden, oder verwenden sie bereits für rapid Prototyping.

4.1 Industrie

3D Druck in der Industrie ist jetzt schon ein wichtiger Bestandteil, vor allem für kleinere Firmen, aber auch für die Entwicklung neuer Produkte in größeren Konzernen. Einige Firmen haben Konzepte jetzt schon in der Entwicklung, oder verwenden bereits gedruckte Teile um ihre Produktion zu verbessern.

So plant Airbus z. B., mithilfe von 3D Druckern mehrere wichtige Teile für ihre Flugzeugproduktion zu verwenden, wodurch die Effizienz gesteigert und Kosten gesenkt werden könnten. Die Firma hat sich bereits mit anderen Konzernen an der Entwicklung der nötigen Technologien gesetzt, und kooperiert z. B. mit 3D Druck Firma Stratasys, welche für sie bereits im letzten Jahr für ein Flugzeug über 1 000 Teile gedruckt hat, welche in der Produktion für Abdeckungen, Mechanik und andere Teile verwendet wurden. Die gedruckten Bauteile erfüllten den kompletten Standard der Luftfahrt, und waren zudem durch die Bauweise passgenau, leicht und stabil (MOLITCH-HOU 2015a).

Airbus gab zudem letztes bekannt dass sie sich mit *“Local Motors”* zusammen legen würden, um weiter im Bereich des 3D Druck zu forschen. Hierfür gab der Konzern ein 150 000 000 **EURO** **ZEICHEN** Kapital bekannt, welches für die Entwicklung und Forschung bereit stehe. Zudem haben sie bereits einen der von *“Additive Industries”* entwickelten *MetalFAB1* in ihre Produktionslinie eingebaut, und planen darauf schon in den nächsten Jahren mehrere Tonnen Bauteile mithilfe von 3D Druckern so zu produzieren (SHER 2015a).

Auch einige am Käufer 'näher' liegende Firmen beteiligen sich bereits an der Entwicklung der Produktion mithilfe von 3D Druckern. So z. B. hat *“Adidas”* letztes bekannt gegeben dass sie eine spezielle Schuhsole, sog. *Futurecraft Soles*, bereitstellen wollen. Diese speziellen Schuhsohlen werden aus einem Scann eines Fußes generiert, und mithilfe von 3D Druckern produziert. So könnten diese Sohlen für jede Fuß passgenau hergestellt werden, und könnte zudem für bestimmte Aufgaben den Fuß an den passenden Stellen unterstützen (KOSLOW 2015a). Eine andere Firma, *“New Balance”*, setzt ebenfalls auf eine ähnliche Technologien, und will selbst individualisierte Sohlen, welche an den Fuß des Benutzers angepasst werden, anbieten (KOSLOW 2015b).

Es ist somit klar ersichtlich dass 3D Druck bald schon in der Industrie eine große Rolle spielen wird. Viele komplexe Bauteile können sehr leicht hergestellt werden, Einzelteile können auf Knopfdruck fabriziert werden, und Individualisierungen von Produkten werden nicht mehr sein als eine kleine Eingabe am Computer. Es wird eine deutliche Revolutionierung des Entwicklungs-, aber auch des Herstellungsprozesses geben, welche sich stark auf die Qualität der Teile und Systeme auswirken wird.

4.2 Medizin

Kaum ein Feld könnte mehr vom 3D Druck profitieren als die Medizin. Da jeder Patient individuelle Betreuung benötigt ist es beinahe unmöglich mit konventionellen Methoden passenden Bauteile her zu stellen. 3D Drucker jedoch können aus fast jedem verfügbaren Material eine beliebige, leicht änderbare Form herstellen. Dies sorgt z. B. für viel bessere Prothesen und Implantate, welche auf den Endnutzer abgestimmt werden können, und zudem um ein vielfaches schneller verfügbar sind und stark gesenkte Kosten haben. So wurden jetzt schon 3D gedruckte Implantate verwendet, welche mit hoher Komplexität und in nur einem Bruchteil der normalen Produktionszeit hergestellt werden konnten, wie z. B. ein aus Titan angefertigter, mit komplexen Strukturen versehener Kiefer, welcher in nur wenigen Stunden gedruckt werden konnte (*Transplant jaw made by 3D printer claimed as first* 2012).

3D gedruckte Modelle können allerdings nicht nur als Prothesen und Implantate verwendet werden. Chirurgen können z. B. einen Scan eines komplexen Knochenbruches nehmen, und diesen als 3D Modell drucken. So können noch vor der eigentlichen Operation wichtige Handgriffe geübt bzw. geplant werden, und können so die eigentliche Operation einfacher verlaufen lassen (DIPAOLA und FRANKO 2013).

3D Druck kann jedoch mehr als das. Wie vorhin bereits erläutert sind Bio-Drucker in der Entwicklung. Diese Drucker könnten die Medizin revolutionieren. Anstelle eines Spenderorgans welches von einem passenden Spender kommen muss, eine Suche die oftmals sehr lange dauert und viele Probleme mit sich bringt wie z. B. dass der Empfänger das Organ abstoßt, könnte man bald Zellen aus dem Empfänger entnehmen und sie mithilfe einiger Prozesse zu einem passenden Organ 'drucken'. Diese neue Organ wäre beinahe 100% kompatibel mit dem Empfänger, und könnte in exakt die passende Form und Größe gebracht werden. Zudem wären solche Organe immer in einem absehbaren Zeitraum verfügbar, wodurch eventuelle lebensrettende Methoden genauer eingeplant werden könnten (RUSSON 2015).

Diese Technologien hätten jedoch nicht nur für die Chirurgie einen wichtigen Einfluss. Auch die pharmazeutische Industrie könnte davon stark profitieren: 3D Gedruckte Organe, welche hergestellt werden könnten ohne dabei Menschen oder Tiere zu verletzen, wären perfekt für die Verwendung als Test-Organ geeignet, ohne dabei Leben zu gefährden, sollte die Medizin Nebenwirkungen aufweisen. So wäre es viel schneller und vor allem fehlerfreier möglich, eine neue Medizin aus zu testen (RUSSON 2015).

Es wird sehr deutlich dass 3D Druck die gesamte Chirurgie verändern könnte. Von der Medizin die verwendet wird über die Organe und Implantate die zur Verfügung stehen bis hin zu den eigentlichen Instrumenten der Chirurgen werden diese neuen Technologien einen starken Einfluss besitzen, und vieles kostengünstiger, individueller, schneller und sicherer machen können.

4.3 Privatgebrauch

Auch der private Bereich wird durch 3D Drucker stark geformt und verändert werden, hauptsächlich jedoch durch die Änderungen in der Industrie, Medizin und anderen Gebieten. Produkte, Operationen, Kleidung, Geschenke und vieles mehr wird dank der neuen Technologien um ein vielfaches günstiger individualisiert werden können.

Doch auch der Privathaushalt selbst wird stark von günstigen 3D Druckern profitieren können: Ist einmal etwas kleines kaputt gegangen, so kann es leicht selbst gedruckt und repariert werden. Auch können z. B. Eltern mithilfe eines Druckers Spielzeug günstig für ihre Kinder herstellen. Oder aber die Kinder selbst können mithilfe von 3D Druckern ihrer Kreativität freien Lauf lassen, und eigene Objekte erstellen und betrachten.

Auch der schulische Bereich könnte vom 3D Druck profitieren. So könnten die Drucker z. B. im Kunstunterricht die Modelle der Schüler produzieren, oder je nach spezifischem Gebrauch der Lehrer anatomische Modelle fabrizieren.

Ein bestes Beispiel hierfür ist ein Komplettsset zum Bau eines 3D Druckers, welches von Fischertechnik für 700**EUROEZEICHEN** diesen Sommer heraus kommen wird. Das Set enthält alles, was zum Bau eines Druckers nötig ist, und erlaubt es so jedem sich selbst spielend leicht einen 3D Drucker zu bauen und über dessen Funktionsweise zu lernen (BAUER 2016).

Jedoch wird es trotz all diesen durchaus nützlichen Anwendungen vermutlich nicht, wie manche sagen, in jedem Haushalt einen 3D Drucker geben. Selbst bei billigeren Geräten würden diese einfach kaum genutzt, eine Anschaffung würde sich nicht lohnen. Vielmehr wird es eher 3D druck “Copy-Shops” geben, welche den Service des 3D Druckens eines Modells an bieten, bzw. die bereits bestehenden Online-Dienste könnten an Wichtigkeit gewinnen.

3D Druck wird dementsprechend auch für den Endnutzer direkt einige wichtige Neuerungen mit sich bringen. Diese jedoch werden meistens in der Industrie selbst ihren Platz finden, und deshalb nur indirekt für uns relevant sein.

Literatur

- 3D Printer Filament Types Overview* (2015). URL: <http://3dprintingfromscratch.com/common/3d-printer-filament-types-overview/> (besucht am 14.01.2016).
- BAGULEY, R. (2016). *Best 3D Printers 2016*. URL: <http://www.tomsguide.com/us/best-3d-printers,review-2236.html> (besucht am 26.01.2016).
- BAUER, V. (2016). *Fischertechnik stellt Selbstbausatz für 3D-Drucker vor*. URL: <http://www.mobilegeeks.de/news/fischertechnik-stellt-selbstbausatz-fuer-3d-drucker-vor/> (besucht am 14.02.2016).
- COXWORTH, B. (2012). *New technology allows for high-speed 3D printing of tiny objects*. URL: <http://www.gizmag.com/two-photon-lithography-fast-3d-printer/21800/> (besucht am 07.01.2016).
- DIPAOLA, M. und O. I. FRANKO (2013). *How 3-D printing could fundamentally change orthopedics*. URL: <http://www.healio.com/orthopedics/business-of-orthopedics/news/print/orthopedics-today/%7B2adc3321-13dc-4890-9ac1-b85bf8e3b55e%7D/how-3-d-printing-could-fundamentally-change-orthopedics> (besucht am 06.02.2016).
- ERICSON, J. (2014). *3D-Printed Windpipe Splints Help Baby With Tracheomalacia Breathe Again*. URL: <http://www.medicaldaily.com/3d-printed-windpipe-splints-help-baby-tracheomalacia-breathe-again-271518> (besucht am 05.01.2016).
- HOFFMAN, C. (2015). *When Will 3D Printers Be Worth Buying For Home Use?* URL: <http://www.howtogeek.com/206765/when-will-3d-printers-be-worth-buying-for-home-use/> (besucht am 26.01.2016).
- KOSLOW, T. (2015a). *Futurecraft Shoes from Adidas Step into the Future with 3D Printed Soles*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2015/10/07/futurecraft-shoes-from-adidas-step-into-the-future-with-3d-printed-soles/> (besucht am 04.02.2016).
- (2015b). *New Balance and Nervous System Collaborate to Make Running Great*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2015/12/07/63131/> (besucht am 04.02.2016).
- (2016). *New Ceramic 3D Printing Method Able to Withstand over 2,500 F*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2016/01/05/64239> (besucht am 10.01.2016).
- MOLITCH-HOU, M. (2015a). *Airbus A350 XWB Takes Off with Over 1,000 3D Printed Parts*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2015/05/06/airbus-a350-xwb-takes-off-with-over-1000-3d-printed-parts/> (besucht am 04.02.2016).
- (2015b). *MetalFAB1 Metal 3D Printer Unveiled with 10X Repeatability*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2015/11/16/metalfab1-metal-3d-printer-unveiled-with-10x-repeatability/> (besucht am 01.02.2016).
- (2015c). *Multimaterial Electronics 3D Printer Showcases ChemCubed's Materials Expertise*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2015/10/22/multimaterial-electronics-3d-printer-showcases-chemcubeds-materials-expertise/> (besucht am 01.02.2016).
- (2015d). *Pre-Order Your 3D Printed Car from Local Motors Next Month*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2015/09/18/pre-order-your-3d-printed-car-from-local-motors-next-month/> (besucht am 19.01.2016).

- MOLITCH-HOU, M. (2015e). *Rolls-Royce Flies Largest 3D Printed Part Ever Flown*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2015/11/09/rolls-royce-flies-largest-3d-printed-part-ever-flown/> (besucht am 19.01.2016).
- (2016). *\$35 Million to Fund Drug 3D Printing from Aprelia*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2016/01/27/35-million-to-fund-drug-3d-printing-from-aprelia/> (besucht am 30.01.2016).
- Multi Jet Modeling* (2015). URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Multi_Jet_Modeling (besucht am 16.01.2016).
- PAUL, P. (2015a). *Alles ueber Fused Deposition Modeling*. URL: <http://www.3d-drucken.de/2015/01/alles-ueber-fused-deposition-modeling/> (besucht am 14.01.2016).
- (2015b). *Alles ueber Selektives Lasersintern*. URL: <http://www.3d-drucken.de/2015/01/alles-ueber-selektives-lasersintern/> (besucht am 16.01.2016).
- (2015c). *Die 5 wichtigsten 3D-Druckverfahren*. URL: <http://www.3d-drucken.de/2015/01/die-5-wichtigsten-3d-druckverfahren/> (besucht am 14.01.2016).
- PONSFORD, M. und N. GLASS (2014). *The night I invented 3D printing*. URL: <http://edition.cnn.com/2014/02/13/tech/innovation/the-night-i-invented-3d-printing-chuck-hall/> (besucht am 12.01.2016).
- RepRap.org* (2004). URL: <http://reprap.org/> (besucht am 14.01.2016).
- RUSSON, M. (2015). *Organovo CEO: 3D bioprinting organs will help us get people off transplant waiting lists*. URL: <http://www.ibtimes.co.uk/organovo-ceo-3d-bioprinting-organs-will-help-us-get-people-off-transplant-waiting-lists-1509076> (besucht am 06.02.2016).
- SHER, D. (2015a). *Additive Industries MetalFAB1 3D Printer Flies into Airbus Factory*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2015/12/18/63690/> (besucht am 04.02.2016).
- (2015b). *I Saw XJet's Nano Particle Jetting 3D Printer and It's Going to Change Everything*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2015/12/02/i-saw-xjets-nano-particle-jetting-technology-and-its-going-to-change-everything-2/> (besucht am 05.01.2016).
- (2015c). *Jemma Redmond's Ourobotics Low-Cost 3D Bioprinter Does 10 Materials and More*. URL: <http://3dprintingindustry.com/2015/12/10/jemma-redmonds-ourobotics-low-cost-3d-bioprinter-does-10-materials-and-more/> (besucht am 04.02.2016).
- STRATASYS (2016a). *Application Study. Baldor Electric Company Drives Design With Dimension 3D Printer*. URL: <http://usglobalimages.STRATASYS.com/Case%20Studies/Commerical%20Products/SSYS-CS-Dimension-Baldor-08-13.pdf?v=635150052437669071> (besucht am 23.01.2016).
- (2016b). *Breathing New Life. 3D Printed Manikins Improve Emergency Medical Personnel Training*. URL: <http://usglobalimages.STRATASYS.com/Case%20Studies/Medical/CS-FDM-MED-UMN-EN-05-15-Web.pdf?v=635694578087296753> (besucht am 23.01.2016).
- (2016c). *Connecting Your Heart. Bangalore-based Medical Start-Up Builds Next Generation Medical System With FDM Technology*. URL: <http://usglobalimages.>

STRATASYS.com/Case%20Studies/Medical/CS_FDM_Med_CardiacDesigns.pdf?v=635799135484678553 (besucht am 23.01.2016).

Transplant jaw made by 3D printer claimed as first (2012). URL: <http://www.bbc.com/news/technology-16907104> (besucht am 06.02.2016).

Schlusserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht und mit genauen Quellenbelegen versehen habe. Verwendete Informationen aus dem Internet sind dem Lehrer / der Lehrerin vollständig im beiliegenden Material zur Verfügung gestellt worden.

_____ Ort, Datum

_____ Unterschrift