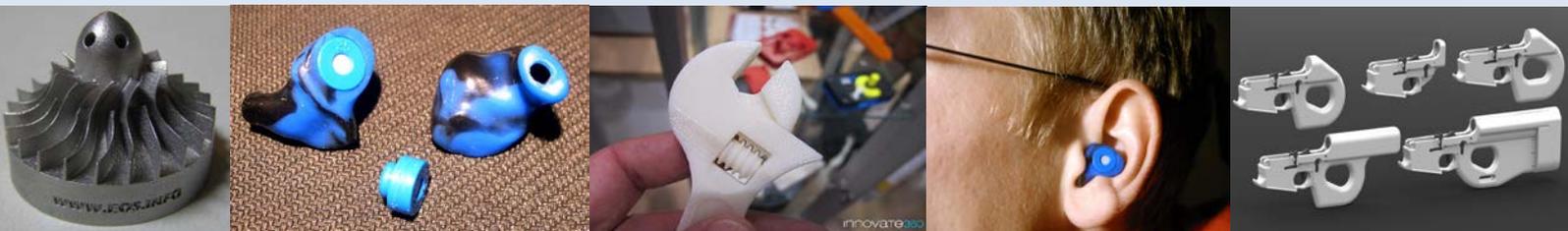


# Streitkräfte, Fähigkeiten und Technologien im 21. Jahrhundert

Future Topic

## Potenziale additiver Fertigungsverfahren

Was können 3D-Drucker?





# Streitkräfte, Fähigkeiten und Technologien im 21. Jahrhundert

---

Future Topic

**Potenziale additiver Fertigungsverfahren**

**Was können 3D-Drucker?**

## Impressum

### Herausgeber

Planungsamt der Bundeswehr  
Dezernat Zukunftsanalyse  
Oberspreestraße 61L  
12439 Berlin

E-Mail: [plgabwdezzuka@bundeswehr.org](mailto:plgabwdezzuka@bundeswehr.org)

### Layout und Druck

Print- und Medienzentrum  
Wehrbereichsverwaltung Ost

### Titelbilder

Von links nach rechts:

- Bild 1:** Turbine (3D printing), Foto von Bcn0209,  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turbine\\_\(3D\\_printing\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turbine_(3D_printing).jpg)  
(cc) Public Domain, <http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/>
- Bild 2:** ER-25 Earplugs blue-black, Foto von Kick the beat  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ER-25\\_Earplugs\\_blue-black.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ER-25_Earplugs_blue-black.JPG)  
(cc) Public Domain, <http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/>
- Bild 3:** HP 3D Drucker DesignJet, Foto von innovate360,  
<http://www.flickr.com/photos/innovate360/6314574352/>  
(cc) BY 2.0 <http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.en>
- Bild 4:** ELACIN (R) ER-25 - Gehörschutz, Foto von Kick the beat  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elacin\\_%28R%29\\_ER-25\\_-\\_musician\\_Earplug\\_worn.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elacin_%28R%29_ER-25_-_musician_Earplug_worn.JPG)  
(cc) Public Domain, <http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/>
- Bild 5:** Charon Line of 3D Printable AR-15 Lower Receivers, Foto von Shanrilivan  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charon\\_Line\\_of\\_3D\\_Printable\\_AR-15\\_Lower\\_Receivers\\_by\\_Shanrilivan.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charon_Line_of_3D_Printable_AR-15_Lower_Receivers_by_Shanrilivan.jpg)  
(cc) Public Domain, <http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/>

**Oktober 2013**

### Für die Inhalte der Studie:

© **Planungsamt der Bundeswehr, Dezernat Zukunftsanalyse**

Alle Rechte vorbehalten. Reproduktion und Veröffentlichung nur nach ausdrücklicher Genehmigung durch das Planungsamt der Bundeswehr, Dezernat Zukunftsanalyse.

---

## Vorwort

Das Planungsamt der Bundeswehr bündelt Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortung im Planungsnetzwerk für die Bundeswehr auf der dem BMVg nachgeordneten Ebene. Es stellt unter anderem Methodenkompetenz und wissenschaftliche Werkzeuge für die Bundeswehr bereit und erarbeitet die Grundlagen für die zukünftige Ausrichtung der Bundeswehr.

In diesem Rahmen dient Sicherheitspolitische Zukunftsanalyse dem Zweck, frühzeitig und auf wissenschaftlicher Basis Erkenntnisse für die Fortschreibung konzeptioneller Vorgaben und Ziele zu gewinnen. Sie liefert ergebnisoffen und weisungsungebunden Ideen und Impulse für die zukünftige Ausrichtung der Bundeswehr und ist somit ein zentraler Bestandteil der Zielbildung.

Die Studien des Dezernats Zukunftsanalyse werden ressort-intern erstellt. Neben militärischer Expertise werden vor allem Erkenntnisse ziviler wissenschaftlicher Einrichtungen sowie verschiedener Ressorts des Bundes genutzt. Gleichwohl sind die Ergebnisse nicht mit anderen Ressorts und Forschungseinrichtungen abgestimmt und sollen auch keinen Eingriff in deren Verantwortlichkeiten darstellen. Die Studienarbeiten des Dezernats Zukunftsanalyse spiegeln keine offiziellen Positionen des BMVg wider.



# Potenziale additiver Fertigungsverfahren

## Was können 3D-Drucker?

### Box 1

#### Waffen aus dem Drucker

Mit der Verbreitung von preiswerteren, auch für den privaten Gebrauch erschwinglichen Druckern, mit denen Bauteile aus 3D-Computerdaten schichtweise und automatisch aufgebaut werden können – allgemein bekannt unter dem Namen 3D-Drucker – begann ein weltweites „Probieren“, was alles möglich sei, was sich alles drucken lässt. Vor allem in den USA versuchten mehrere Gruppen, wie die Defence Distributed Group<sup>1</sup> um Cody Wilson, Waffenteile und ganze Waffen mit 3D-Druckern herzustellen. Eine entsprechende Lizenz zur Waffenproduktion hatte die Gruppe im März 2013 von staatlichen Stellen der USA erhalten.<sup>2</sup>

Die erste fast vollständig aus gedruckten, nicht metallischen Einzelteilen bestehende Waffe ist eine 9 mm Pistole namens Liberator. Lediglich der Bolzen zur Zündung der Munition ist metallisch – ein herkömmlicher Baumarktnagel. Die Pistole konnte bei ersten Versuchen einen Schuss abgeben. Die Meldung über den erfolgreichen Einsatz dieser Einschusswaffe und vor allem Internetvideos der ersten Schießversuche mit solchen Waffen haben eine weltweite Diskussion ausgelöst, in deren Folge der online gestellte Bauplan der Liberator von der Webseite der Defence Distributed Group gelöscht wurde. An anderen Stellen im Internet ist der Bauplan neben schätzungsweise rund 100 anderen verfügbaren Waffendesigns weiter weltweit abrufbar. Heute finden sich im Internet zahlreiche Videos, die demonstrieren, wie andere Waffentypen, die zum Teil oder vollständig aus dem Drucker kommen, erste Schüsse abgeben. Aktuell haben solche Waffen jedoch noch keine hohe Zuverlässigkeit und werden häufig schon beim ersten Schuss zerstört.<sup>3</sup> Trotzdem sind Sicherheitsbehörden durch die gegenwärtigen Entwicklungen alarmiert, denn nicht metallische Waffen können von keinem der herkömmlichen Detektoren erkannt werden. Damit sind die bisherigen Sicherheitskonzepte für Flughäfen, Großveranstaltungen und öffentliche Gebäude teilweise als nicht mehr ausreichend anzusehen.<sup>4</sup>



## Einleitung

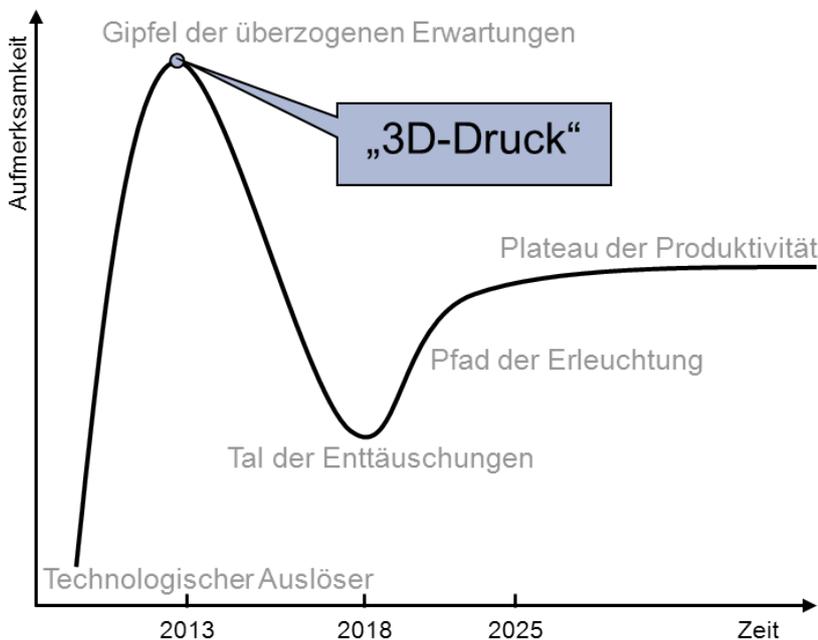
„So wie die Mikrowelle nicht alle anderen Formen des Kochens ersetzt hat, wie anfangs vorhergesagt, wird der 3D-Druck auch nicht andere Herstellungstechnologien ersetzen.“

Carl Bass, Chef der Software-Firma Autodesk, 2013<sup>5</sup>

Im Jahr 1984 entwickelte Charles Hull, Gründer der Firma 3D Systems, die Stereolithographie und damit den ersten funktionsfähigen 3D-Drucker.<sup>6</sup> Über die Industrieverfahren Rapid Prototyping, das zur Erstellung von Modellen und Prototypen verwendet wird, und Rapid Manufacturing, mit dem auch in höherer Qualität produziert werden kann, haben sich diverse Fertigungsverfahren mittlerweile zu einer Technologie entwickelt, die reif für den Massenmarkt ist – zumindest wenn man entsprechenden Artikeln in Zeitschriften und den Werbeversprechen vieler Firmen Glauben schenken will. Doch ist dieser Hype begründet? Verschiedene Analysten,

wie zum Beispiel die Firma Gartner Inc.<sup>7</sup>, ordnen Technologien, die umgangssprachlich 3D-Druck genannt werden, auf dem Höhepunkt einer überzogenen Erwartungshaltung ein (siehe Abb. 1). Folgt man dem Kurvenverlauf, dürfte schon bald Ernüchterung eintreten und deutlich werden, dass die Hürden bei der Entwicklung oder Implementierung jenseits schon bestehender spezieller Anwendungsbereiche doch noch höher sind als erwartet. In etwa fünf bis zehn Jahren dürfte dann die Technologie im globalen Markt ankommen, das heißt sich als anerkannte Technologie in vielen Lebensbereichen durchsetzen.

Abb. 1: Einordnung des „3D-Drucks“ in den Technology Hype Cycle.



Quelle: Gartner Inc. (2013), eigene Darstellung.

Forschung und Entwicklung machen in den verwendeten Technologien momentan sprunghafte Fortschritte. Erste Firmen bieten Geräte an, die auch für private Nutzer erschwinglich sind. Immer neue Werkstoffe sind für eine Verwendung geeignet und viele neue Anwendungsoptionen werden diskutiert und ausprobiert. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welchen Stellenwert solche Technologien für Streitkräfte in Zukunft haben werden. Stellen sie lediglich eine weitere Möglichkeit zur Rüstungsbeschaffung dar oder muss diese Technologie auch vor dem Hintergrund sicherheitspolitischer Implikationen betrachtet werden?

## Additive Fertigungsverfahren<sup>8</sup>

Zu den additiven Fertigungsverfahren, früher auch oft als generative Fertigungsverfahren bezeichnet, gehören alle Verfahren, bei denen Bauteile aus 3D-Computerdaten schichtweise („additiv“) und automatisch aufgebaut werden. Gegenüber subtraktiven („spanabhebend“) Verfahren, wie Drehen, Fräsen und Schleifen, zeichnen sich

additive Fertigungsverfahren durch einen Wechsel der Grundauffassung bei der Gestaltung und Fertigung von Bauteilen aus: vom „Manufacturing-driven Design“ zum „Design-driven Manufacturing“. Der häufig generell für alle dieser Verfahrenstechniken verwendete Begriff 3D-Druck ist eher umgangssprachlicher Natur und bezieht sich eigentlich nur auf einen kleinen Bereich der additiven Fertigungsverfahren, die Herstellung von Produkten aus diversen Polymerarten.

Zur Unterscheidung der einzelnen additiven Fertigungsverfahren können die unterschiedlichen Arten eingesetzter Werkstoffe (Polymere, Keramiken, Metalle), aber auch deren Ausgangsform (Flüssigkeit, Pulver, Folie, Paste, Draht) oder die Art der Aushärtung der Schichten (Licht, chemische Reaktionen, Temperaturänderungen) herangezogen werden.<sup>9</sup> Im Folgenden werden die unterschiedlichen Verfahren anhand ihrer Ausgangsform differenziert (vgl. Abb. 2).

Abb. 2: Übersicht über additive Fertigungsverfahren nach der Form der Ausgangsstoffe.



Quelle: eigene Darstellung.

## Verfahren mit pulverförmigen Werkstoffen

Das Drucken mit Pulver funktioniert ähnlich wie bei einem herkömmlichen Tintenstrahldrucker. Die Drucker haben eine oder mehrere Düsen, aus denen ein Bindemittel auf den pulverförmigen Werkstoff gesprüht wird und die einzelnen Körner miteinander verklebt. Die erste Schicht wird erstellt, indem auf eine Lage Pulver Bindemittel aufgetragen wird. Dann erfolgt das Auftragen einer weiteren dünnen Pulverschicht und anschließend wieder Bindemittel. Die Arbeitsplatte bewegt sich dabei Stück für Stück nach unten. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass auch Bauteile mit überhängenden Anteilen oder bewegliche Teile erstellt werden können, da nicht verklebtes Pulver als Stützstruktur oder Abstandshalter fungiert. Da das Bindemittel eingefärbt werden kann, ist es auch möglich, vielfarbige Modelle beziehungsweise Werkteile herzustellen.<sup>10</sup> Gedruckt werden können Gips und Kunststoffe, aber auch Keramik, Glas und andere pulverförmige Materialien. Die Auflösung ist begrenzt und hängt von der Feinkörnigkeit der verwendeten Pulver ab.

Das selektive Lasersintern<sup>11</sup> und das selektive Laserschmelzen funktionieren nach dem gleichen Prinzip. Statt eines Bindemittels wird das Pulver hier mittels eines Hochleistungslasers Schicht für Schicht gesintert oder verschmolzen. Hierbei können metallische Materialien, ebenso wie Keramiken und Sand verarbeitet werden. Beim Elektronenstrahlschmelzen wird das metallische Pulver durch einen fokussierten Elektronenstrahl unter Vakuum verschmolzen. Durch das Vakuum wird der Einschluss von Sauerstoff in das Objekt

verhindert und damit seine Güte erheblich verbessert.

## Verfahren mittels geschmolzener Werkstoffe

Der Druck mittels Fused Filament Fabrication (z.B. Schmelzschichtung) ähnelt im Prinzip einer beweglichen Heißklebepistole und eignet sich vor allem für Kunststoffe. Das Verfahren stellt momentan die günstigste Möglichkeit dar, dreidimensionale Objekte nach 3D-Computermodellen zu erzeugen.

Ein beheizter Extruder, der zugeführtes Material schmilzt, baut auf einer Plattform das gewünschte Objekt Schicht für Schicht auf. Dabei können der Extruder oder die Plattform beweglich sein. Die Geschwindigkeit des Drucks wird von der Abkühlungs-/Aushärtungszeit des Ausgangsmaterials bestimmt. Erst wenn eine Schicht vollständig ausgehärtet ist, kann die nächste Schicht aufgetragen werden. Für die Herstellung überhängender Strukturen oder von Hohlräumen ist der Einsatz zusätzlicher Extruder und von Stützstrukturen nötig. Die Auflösung beziehungsweise die Qualität des Druckes sind begrenzt und hängen zum einen von der Feinheit der Düsen und der präzisen Beweglichkeit der Extruder, zum anderen aber auch von den thermischen Eigenschaften des Ausgangsmaterials ab.

Drucker für den „Heimgebrauch“ basieren auf diesem Verfahren. Das Prinzip des Auftragens mittels Extruder ließe sich auch auf andere pastöse Materialien wie Lebensmittel, Beton oder Gips ausdehnen.

## Verfahren mit flüssigen Werkstoffen

Ein weiterer Ansatz für den schichtweisen Aufbau von Bauteilen arbeitet auf Basis

flüssiger UV-empfindlicher Kunststoffe (Photopolymere). Bei der Stereolithografie<sup>12</sup> werden Objekte erzeugt, indem die einzelnen Schichten mithilfe eines Laserstrahls auf die Oberfläche des flüssigen Ausgangsmaterials projiziert werden. Knapp unter der Oberfläche befindet sich eine Plattform, auf der das Bauteil entsteht. Nachdem der Kunststoff durch das Licht polymerisiert und damit erstarrt ist, wird die Plattform abgesenkt, das heißt in das Polymer getaucht, bis sich wieder ein dünner Film Flüssigkeit über dem Bauteil bildet und eine neue Schicht mittels Laser projiziert werden kann. Das fertige Bauteil muss zur vollständigen Aushärtung häufig in Belichtungskammern nachbelichtet werden. Durch die gute Fokussierbarkeit der Lichtquellen und ein weites Spektrum an Ausgangsmaterialien kann im Gegensatz zu anderen additiven Verfahren eine höhere Druckqualität erreicht werden. Allerdings müssen bei überhängenden Strukturen nadelförmige Stützelemente eingefügt und im Nachhinein mechanisch wieder entfernt werden.

### Gemischte Verfahren

Eine Kombination aus Stereolithografie und Schmelzschichtung stellt das Polyjet-Verfahren dar. Hierbei wird ein Photopolymer über einen Druckkopf auf eine Bauplatte aufgetragen und durch eine im Druckkopf integrierte Lichtquelle sofort ausgehärtet. Dieses Verfahren ist wesentlich detailgenauer als es Schmelzschichtungs-Verfahren allein sein können. Gleichzeitig sind die benötigten Geräte kleiner, da sie nicht über ein Becken mit Polymervorrat wie bei der Stereolithografie verfügen müssen. Stützstrukturen, die im Nachhinein wieder mechanisch entfernt werden müssen, sind aber auch hier erfor-

derlich. Es ist auch möglich, mehrere Druckköpfe gleichzeitig zu verwenden, wodurch Kunststoffgemische bereits während des Druckes erstellt werden können.

Es gibt noch eine Vielzahl weiterer additiver Verfahren, die zum Beispiel mit Papier oder Folien arbeiten. Auf diese Spezialverfahren wird in diesem FT nicht weiter eingegangen.

## Aktuelle Anwendungsgebiete

Viele der hier vorgestellten Verfahren sind bereits seit Jahren in der Industrie etabliert, andere befinden sich noch im Erprobungsstadium, existieren als Prototyp oder befinden sich an der Schwelle zur Produktionsreife. Als „Rapid Prototyping“ für Belange des Modellbaus innerhalb der Produktentwicklung sind additive Fertigungsverfahren seit Jahren in der Fahrzeugindustrie, im Maschinen- und Anlagenbau oder auch in der Architektur Standard geworden. Die Luftfahrtindustrie profitiert von Verfahren des „Rapid Manufacturing“, indem besonders leichte Serienbauteile aus speziellen Werkstoffen in kleinen Stückzahlen hergestellt werden können. Auch andere Industriebereiche nutzen so die vielfältigen Möglichkeiten, kostensparend sehr komplexe Bauteile in Kleinserien zu fertigen. Es gibt auch erste Versuche, ganze Häuser (den Anteil aus Beton) zu drucken.<sup>13</sup> Seit mehreren Jahren nutzt die Gemeinschaft der Onlinespieler diese Fertigungsverfahren, um Spielfiguren aus dem Computer in die Realität zu überführen. In der Lebensmittelindustrie werden Backwerke oder Schokoladenkunstwerke gedruckt. Firmen bieten individualisierte 3D-Kunstobjekte und Gebrauchsgegenstände bis hin zu 3D-Kopien des eigenen Körpers immer preiswerter an. Seit die ersten 3D-Drucker auch

für den Hausgebrauch erschwinglich sind, setzen immer mehr Menschen ihre eigenen Ideen aus dem Computer in die Realität um. Das hat unter anderem auch dazu geführt, dass bereits erste Waffenteile oder ganze Waffen (Einschusswaffen) von Privatpersonen gedruckt wurden (Vgl. Box 1 S. 1).

Ein weiteres Anwendungsgebiet für additive Fertigungsverfahren ist die Medizin. Für die Herstellung von Prothesen wird bereits vielfach auf additive Fertigungsverfahren zurückgegriffen.<sup>14</sup> So werden Otoplastiken für Hörgeräte heute oft mittels Stereolithografie oder verwandten Verfahren hergestellt. Ebenso gibt es erste Anwendungsbeispiele für die individuelle Anpassung von Endoprothesen, wie künstliche Kniegelenke. Parallel wird daran geforscht erste einfache Organgerüste und Organe (z.B. Blutgefäße, Herzmuskelgewebe) zu drucken. Die „Druckertinte“ besteht in diesem Fall aus gezüchteten spezialbehandelten Zellen, die gemeinsam mit einer Stützstruktur (z.B. Hydrogel) gedruckt werden. Die fertigen Organe müssen in einem Bioreaktor nachreifen, damit die Zellen zusammenwachsen können. Solche Versuche befinden sich derzeit jedoch noch im Versuchsstadium und werden noch nicht am Menschen angewendet.<sup>15</sup>

Die Forschungsbereiche, die sich mit additiven Fertigungsverfahren beschäftigen, sind momentan sehr dynamisch, viele Entwicklungen finden gleichzeitig statt. Derzeit geht es in der Forschung und Entwicklung in erster Linie noch darum, die äußere Form der Bauteile zu optimieren und neue Anwendungsbereiche zu erschließen. So hat ein Erfinder einen 3D-Drucker entwickelt, der dank einer speziellen Düsenform statt hartem Kunststoff auch weiche Knetmasse verarbeiten kann.

Abb. 3: Gehörschutz-Otoplastiken mit Elacin (R) ER-25 Filterelement, kleines Bild: Otoplastik im Ohr getragen.



Quelle: Kick the beat (2007).

Durch den Einsatz von zwei Düsen gleichzeitig ist es möglich, hartes und weiches Material im Wechsel zu verwenden und so hybride 3D-Bauteile zu drucken, die gummiartige Elemente oder Dichtungen enthalten.<sup>16</sup> Andere Forschergruppen beschäftigen sich damit, die Größenlimitation bisheriger Geräte zu überwinden und entwickeln Drucker, die auch in der Lage sind, sehr große Objekte zu produzieren. Forscher in Barcelona haben erste Ideen entwickelt, quasi „ohne Drucker“ zu drucken. Die Spritzdüsen<sup>17</sup> befinden sich hier auf einem Industrieroboter, der den Startpunkt des „Drucks“ an jedem beliebigen Punkt im Raum auf einer Oberfläche setzen kann.

Der nächste Schritt wird darin bestehen, die innere Struktur der verwendeten Materialien so zu beeinflussen, dass zusätzliche Funktionalitäten, wie etwa eine elektrische Leitfähigkeit, möglich werden. Dies könnte durch die Kombination verschiedener Materialien und deren Anordnung im Bauteil geschehen oder durch die Einführung von winzigen Grundbausteinen, die unterschiedlichste Grundelemente wie Transistoren, Leitungen, Batterien und andere elektronische Bauteile enthalten. Hod Lip-

son von der Cornell Universität beschreibt seine Konzeptidee so: „Die sind ähnlich wie die Pixel auf einem Bildschirm, nur eben in einem dreidimensionalen Raum, weshalb wir sie Voxel nennen.“<sup>18</sup> Die Forscher hoffen damit voll funktionsfähige Geräte fertigen zu können. Die Umsetzung dieser Idee liegt nach Angaben der Wissenschaftler aber noch 20-30 Jahre in der Zukunft.

## Aktivitäten in Streitkräften

Sehr aktiv auf dem Bereich der Forschung zu Anwendungsmöglichkeiten von additiven Fertigungsverfahren sind die Streitkräfte der USA. Neben zahlreichen Forschungsprogrammen und Studienarbeiten der U.S. Army, der U.S. Air Force und der U.S. Navy hat die Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA)<sup>19</sup> eigene Programme, die sich mit unterschiedlichen Aspekten dieser Verfahren beschäftigen, oft in Kooperation mit namhaften Universitäten und Forschungsinstituten.<sup>20</sup> Einige Beispiele für in den USA bereits in der Erprobung beziehungsweise im Einsatz befindliche Anwendungen von additiven Fertigungsverfahren sind: (1) Die Entwicklung von mobilen Container-Laboren für die Rapid Equipping Force durch die U.S. Army, die unter anderem mit additiven Fertigungsgeräten ausgestattet sind und vor Ort schnelle und vom Nachschub unabhängige Reparaturen oder die Herstellung von Ersatzteilen oder Werkzeugen ermöglichen. Von ursprünglich drei geplanten Laboren befinden sich zwei in Afghanistan im Einsatz.<sup>21</sup> (2) Das U.S. Army Corps of Engineers verwendet diese Verfahren zur Erstellung von 3D-Modellen nach Geo-Karten zur Visualisierung von unbekanntem Gelände und unterstützt so militäri-

sche und auch zivile Operationen.<sup>22</sup> (3) Die U.S. Navy hat ähnliche Bestrebungen wie die U.S. Army, indem sie Fertigungsgeräte an Bord von Schiffen mitführt, um Reparaturen und die Versorgung mit wichtigen Ersatzteilen zu vereinfachen. (4) Ein weiterer Aspekt ist der Einsatz bei der Konstruktion von Schiffen, womit leichtere Bauweisen möglich werden. Leichtere Schiffe benötigen unter anderem weniger Treibstoff und sparen damit auch während der Betriebsphase längerfristig Kosten. (5) Auch über einen Einsatz in Bordküchen wird nachgedacht, der es erlauben würde, bei Veranstaltungen große Mengen gleichen Essens zu produzieren oder aber Sonderanfertigungen für Geburtstage oder Feiertage herzustellen. (6) Die U.S. Air Force profitiert von den weit fortgeschrittenen Entwicklungen in der zivilen und militärischen Luftfahrzeugindustrie – vor allem für leichtere und teils auch stabilere Bauteile für Fluggeräte aller Art. (7) In der U.S. Air Force wird darüber hinaus auch erforscht, in wie weit durch additive Fertigungsverfahren zusätzliche Funktionen und Eigenschaften während der Produktion in die Bauteile integriert werden können, die zu besseren Flugeigenschaften oder Tarnwirkungen führen.<sup>23</sup>

Auch in der NATO wurden ab 2006 verschiedene Studien zu Anwendungsmöglichkeiten additiver Fertigungsverfahren durchgeführt. Schwerpunkt waren Untersuchungen hinsichtlich der Eignung additiver Verfahren in der Produktion und für die Reparatur von Bauteilen für die Luft- und Raumfahrt. Getestet wurden Spezialverfahren, spezielle Legierungen und der Einsatz von Mikro- und Nanomaterialien. Die Studien zogen ein insgesamt positives Fazit: die Verfahren seien prinzipiell geeignet für die Produktion von vielen Bauteilen in

der Luft- und Raumfahrt. Vor einer generellen Einführung müssten allerdings Standardisierungs- und Zertifizierungsfragen geklärt werden.<sup>24,25</sup>

In der Bundeswehr ist das Wehrwissenschaftliche Institut für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB) die Organisationseinheit, die sich bereits praktisch mit der Nutzung von additiven Fertigungsverfahren für die Bundeswehr auseinandersetzt. Andere Organisationseinheiten, wie das Zentrum für Verifikationsaufgaben der Bundeswehr, untersuchen, welche Einflüsse und Auswirkungen sie auf militärische Abläufe, Organisation und Ausrüstung allgemein oder in Teilaspekten haben könnte.

Das WIWeB hat sich in Kooperation mit EADS in einer Studie mit der Frage beschäftigt, ob es möglich ist, mittels additiver Fertigungsverfahren die Rohre von Großkaliber-Rohrwaffen<sup>26</sup> herzustellen. Diese Kanonen werden neben hohen mechanischen (Gasdrücke beim Zünden der Treibladung) auch extrem hohen thermischen Belastungen (Verbrennungsgas-temperaturen über 2000°C) ausgesetzt. Durch die große geometrische Freiheit bei der Bauteilherstellung mittels additiver Fertigungsverfahren sollte versucht werden, Kühlungsfunktionalitäten bereits während des Druckvorgangs in das Rohr zu integrieren. Versuche im Rahmen dieser Studie haben dieses Ziel zwar nicht erreicht - die produzierten Stahlstäbe wiesen eine geringere Härte auf, als zuvor prognostiziert wurde. In Folgestudien sollen durch Variation der eingesetzten Werkstoffe und der Verfahrenstechnik nunmehr Erklärungen für das Fehlverhalten gefunden und neue Lösungsansätze ausprobiert werden. Zu diesem Zweck wird momentan im WIWeB ein eigenes Fertigungsgerät beschafft.<sup>27</sup>

## Bewertung

Technologien der additiven Fertigungsverfahren werden in Zukunft in vielen Bereichen Anwendung finden. Sowohl weitere Forschungen als auch entsprechende Anwendungen werden zwar weiterhin vornehmlich auf dem zivilen Sektor stattfinden, werden sich in ihrer Vielfalt aber auch in den Streitkräften widerspiegeln. Dies bedeutet für Streitkräfte, dass sie frühzeitig prüfen sollten, ob und wie Erkenntnisse der zivilen Forschung und Anwendung auch auf militärische Anforderungen übertragen werden können und welche Konsequenzen sich daraus ergeben. Im Gegensatz zu anderen Technologien sind – mit der möglichen Ausnahme im medizinischen Bereich – keine ethischen Bedenken gegen die Anwendung dieser Technologie zu erkennen,

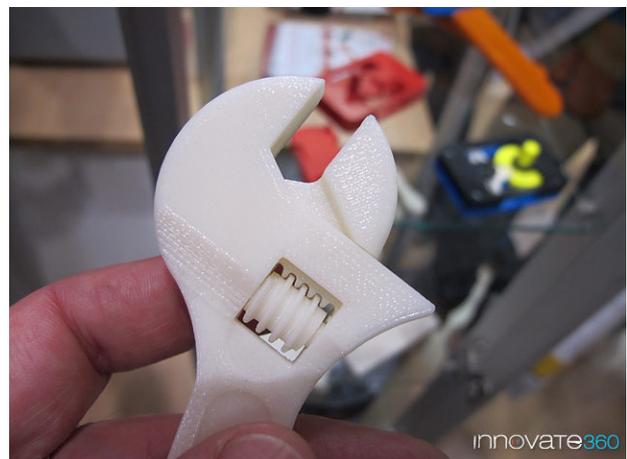
Für den Bereich der Rüstung und Logistik ist das Anwendungspotenzial additiver Fertigungsverfahren durchaus erkennbar, unter anderem bei der Konstruktion neuer Großgeräte - etwa für die Herstellung einzelner Bauteile mit spezifischen Eigenschaften (Leichtbauweise) oder Zusatzfunktionen. Hierzu würden sich vor allem Verfahren, die pulverförmige Ausgangsstoffe verwenden, eignen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten werden in der Pflege und Wartung bestehender Systeme bis hin zur individuellen Anpassung der persönlichen Ausrüstung des einzelnen Soldaten, wie individualisierte Schutzmasken, kopfgenaue Helmeinsätze oder passgenauer Hörschutz gesehen. Durch geeignete additive Fertigungsverfahren könnten sich nach ersten Einschätzungen Kosteneinsparungen allein dadurch realisieren lassen, dass Ersatzteile oder Spezialwerkzeuge im Einsatz direkt vor Ort reproduzieren werden

und so eine schnellere Wiedereinsatzfähigkeit beschädigten Gerätes erreicht wird.

Eine Herausforderung wird allerdings darin liegen, dass ein Großteil eingeführten militärischen Gerätes zertifiziert, gegebenenfalls gehärtet und für militärische Zwecke zugelassen werden muss. Bei einem Einsatz mobiler Werkstätten (siehe U.S. Army) müsste zum Beispiel geprüft werden, in wie weit es zulässig oder zumindest vertretbar wäre, mit additiven Fertigungsverfahren erstellte Ersatzteile – zumindest vorübergehend – in vorhandene Systeme einzubauen. Abgesehen von solchen technisch gelagerten Fragenstellungen wären unter anderem auch Patentrechtsfragen und – soweit Waffenteile betroffen sind, gegebenenfalls auch Fragen nach dem Kriegswaffenkontrollgesetz<sup>28</sup> zu klären beziehungsweise anzupassen.

Sicherheitspolitische Implikationen für Streitkräfte durch additive Fertigungsverfahren sind nach derzeitigem Kenntnisstand nicht zu erwarten. Eine Produktion von Waffen, Waffenteilen oder anderem Kriegsgerät in größeren Maßstäben mittels der vorgestellten Verfahren wird auch für die Zukunft nicht erwartet.

Abb. 4: Mit dem 3D Drucker HP DesignJet gefertigtes funktionsfähiges Werkzeug.



Quelle: Innovation360 (2011).

Bezogen auf kriminelle und/oder terroristische Aktivitäten kann von additiven Fertigungsverfahren dagegen sehr wohl ein Sicherheitsrisiko ausgehen. In zerlegtem Zustand und separat transportiert wäre es laut Bundespolizei kein Problem, eine nicht metallische Waffe durch einen Detektor zu schmuggeln und anschließend, wie einen Bausatz aus Spielzeugheften, wieder zusammensetzen.<sup>29</sup> Damit würden bisherige Sicherheitskonzepte und -maßnahmen auf Flughäfen, bei Veranstaltungen oder für öffentliche Gebäude durchaus unterlaufen (Vgl. Box 1 S. 1). Dies könnte unterhalb der sicherheitspolitischen Ebene im konkreten Einzelfall auch den Objektschutz der Bundeswehr im In- und Ausland direkt betreffen. Im Kontext solcher Sicherheitsbewertungen ergibt sich durchaus die Problematik der Proliferation mittels additiver Verfahren gefertigter Waffen. Die aktuelle Proliferationsüberwachung und entsprechende Proliferationsregime müssten auf reproduzierbare Waffenteile, gegebenenfalls sogar auf hierzu geeignete Druckergereäte oder entsprechende digitale

Konstruktionsdaten (CAD-Daten) ausgedehnt werden. Parallel dazu sollten technische Möglichkeiten zur Detektion entsprechender Waffen und Waffenteile entwickelt werden.

## Fazit

Bei den additiven Fertigungsverfahren handelt es sich um ethisch vertretbare Technologien. Ihre Verwendung lassen derzeit keine direkten militärisch sicherheitspolitisch relevanten Auswirkungen erwarten. Gleichzeitig ist ein hoher Nutzen für die Bereiche Ausrüstung und Logistik zu erwarten. Die Bundeswehr sollte daher ihre begonnenen Aktivitäten fortführen und weitere potenzielle Anwendungsgebiete identifizieren.

Abb. 5: Selbstdesignte 3D-druckbare Griffstücken des Sturmgewehres AR15.



Quelle: Shanrilivan (2007).

## Endnoten

<sup>1</sup> Weiterführende Informationen zur Defence Distributed Group finden sich auf der Homepage der Gruppe: <http://defdist.org/> (abgerufen am 01.10.2013).

<sup>2</sup> Vgl. Ct –Hardware hacks (2012a).

<sup>3</sup> Vgl. Ct –Hardware hacks (2012b, 2012c); Spiegel online (2013a).

<sup>4</sup> Vgl. Heise online (2013).

<sup>5</sup> Vgl. Kerkmann (2013).

<sup>6</sup> Vgl. Kerkmann (2013); 3D System (2013).

<sup>7</sup> Im Jahr 1995 entwickelte Jackie Fenn, heutige Vizepräsidentin der Gartner Forschung, den Hype Cycle. Das Diagramm beschreibt in einer Kurve den Verlauf der Einführung und Etablierung von Techniken/Technologien und Produkten. Auf der x-Achse wird die Zeit aufgetragen und auf der y-Achse die Aufmerksamkeit. Eine neue Technik startet mit einer starken Steigung, fällt dann abrupt ab, um dann langsam auf ein Plateau anzusteigen. Unterschiedliche Technologien durchlaufen den Zyklus verschieden schnell. Die Abschnitte der Kurve gliedern sich wie folgt: Technology Trigger (Nullpunkt), Peak of Inflated Expectations, Trough of Disillusionment, Slope of Enlightenment, Plateau of Productivity, vgl. Seeger (2010).

<sup>8</sup> Die Beschreibung der in diesem Absatz beschriebenen Verfahren wurden auf Grundlage folgender Artikel erarbeitet: Vgl. Weimert (2010); Reschke (2000: 50, 2001: 3); 3druck (2013); Kubikwerk (2013).

<sup>9</sup> Vgl. Weimert (2010).

<sup>10</sup> Vgl. Reißmann (2013).

<sup>11</sup> Unter Sintern versteht man ein Fertigungsverfahren bei dem feinkörnige Stoffe durch Erhitzen verfestigt werden, indem lediglich die Oberflächen der Stoffpartikel angeschmolzen werden, um so untereinander zu verkleben bzw. zusammenzuwachsen.

<sup>12</sup> Stereolithografie ist die älteste Methode additiver Fertigungsverfahren die mit flüssigen Kunststoffen arbeitet.

<sup>13</sup> Detaillierte Informationen zum Drucken von Häusern finden sich auf der Internetseite der Firma Contourcrafting, <http://www.contourcrafting.org/>, und im Interview mit dem Architekten Janjaap Ruijsenaars in De Zeen Magazine, vgl. Hobson (2013).

<sup>14</sup> Vgl. Sutcliffe (2013).

<sup>15</sup> Vgl. Bochar-Tuch (2009); Harmon (2013: 19-21); Niesing (2012).

<sup>16</sup> Vgl. Lubbadah (2013: S. 22).

<sup>17</sup> Der Werkstoff ist hier ein an der Luft selbstaushärtendes Kunststoffgemisch ähnlich einem 2 Komponentenkleber.

<sup>18</sup> Vgl. Boeing (2013: S. 78-79).

<sup>19</sup> Die DARPA ist eine Behörde des Verteidigungsministeriums der USA.

<sup>20</sup> DARPA Open manufacturing Program, [http://www.darpa.mil/Our\\_Work/DSO/Programs/Open\\_Manufacturing.aspx](http://www.darpa.mil/Our_Work/DSO/Programs/Open_Manufacturing.aspx); 09.10.2013; DARPA Disruptive Manufacturing Technologies Program, [http://www.darpa.mil/Our\\_Work/DSO/Programs/Disruptive\\_Manufacturing\\_Technologies\\_\(DMT\).aspx](http://www.darpa.mil/Our_Work/DSO/Programs/Disruptive_Manufacturing_Technologies_(DMT).aspx); 09.10.2013; U.S. Department of Energy Innovative Process and Materials Technologies Project, [http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/innovation/rd/innovative\\_manufacturing.html](http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/innovation/rd/innovative_manufacturing.html); 09.10.13; U.S. Air Force Research Laboratory Additive Manufacturing Projects: Laser Direct Manufacturing, Additive Manufacturing of Superalloys, Advanced Manufacturing of AlBe and Ti Alloys, <http://www.midwestsampe.org/content/files/events/dpmworkshop/panel/Panel%20AFRL%20Szaruga.pdf>; 09.10.2013; Newman (2013); Reardon (2012).

---

<sup>21</sup> Vgl. Lipowsky (2012); Sauer (2012).

<sup>22</sup> Vgl. 3D systems (2013).

<sup>23</sup> Spiegel online (2013b).

<sup>24</sup> Vgl. Mancia et a. (2006); Kobryn et al. (2006); Allen (2006); Hedges/Calder (2006); Vlcek (2006).

<sup>25</sup> Im Unterschied zu militärischen Zwecken werden in der Produktion für die zivile Luftfahrt etliche Bauteile bereits mit diesen Fertigungsverfahren hergestellt.

<sup>26</sup> Ein Beispiel ist die 120mm Glattrohrkanone des Leopard 2 Kampfpanzer.

<sup>27</sup> Vgl. Studie EADS und WIWeB: Bewertung neuer metallischer Hochleistungswerkstoffe und Prozesse - Teilprojekt „Additiver Werkstoffaufbau“ (ALM = *Additive Layer Manufacturing*) mit dem Hochleistungsvergütungsstahl 35NiCrMoV12-5 (1.6959).

<sup>28</sup> Bestimmtes Wehrmaterial bzw. entsprechende Einzel- oder Ersatzteile von Plattformen und Waffensystemen, deren Replizierbarkeit durch additive Fertigungsverfahren grundsätzlich möglich wäre, unterliegen hinsichtlich grenzüberschreitender Transporte rechtlichen Beschränkungen zum Beispiel nach dem Kriegswaffenkontrollgesetz. Solche Beschränkungen dürften zunächst auch für die Datenübermittlung von 3D-Druckplänen (CAD-Daten) unterstellt werden, sind in gegenwärtigen Proliferationsregimen ggf. aber noch nicht oder nur ungenügend erfasst.

<sup>29</sup> Vgl. Heise online (2013).

## Literaturverzeichnis

- 3D System 2013: The Journey of a Lifetime, in: <http://www.3dsystems.com/30-years-innovation/>; 05.09.2013.
- 3druck 2013: Entwicklung und Geschichte der 3D-Drucktechnologie, in: <http://3druck.com/grundkurs-3d-drucker/>; 08.10.2013.
- Allen, J. 2006: An Investigation into the Comparative Costs of Additive Manufacture vs. Machine from Solid for Aero Engine Parts (NATO RTO Studie), Derby UK.
- Bochard-Tuch, C. 2009: Druckreife Gefäße, in: Spektrum.de 23.06.2013, <http://www.spektrum.de/alias/medizintechnik/druckreife-gefaesse/988828>; 09.10.2013.
- Boeing, N. 2013: In Neuen Dimensionen, in: Technologie Review 8, 78-79.
- Ct –Hardware hacks 2012a: Lizenz zur Waffenproduktion mit 3D-Druckern erteilt, in: Ct –Hardware hacks online 18.03.2012, <http://www.heise.de/hardw are-hacks/meldung/Lizenz-zur-Waffenproduktion-mit-3D-Druckern-erteilt-1824420.html>; 09.10.2013.
- Ct –Hardware hacks 2012b: The Liberator: Erste komplette Waffe mit 3D-Drucker hergestellt, in: Ct –Hardware hacks online 06.05.2012, <http://www.heise.de/hardw are-hacks/meldung/The-Liberator-Erste-komplette-Waffe-mit-3D-Drucker-hergestellt-1838891.html>; 09.10.2013.
- Ct –Hardware hacks 2012c: MakerBot löscht 3D-Vorlagen für Waffenteile, in: Ct –Hardware hacks online 20.12.2012, <http://www.heise.de/hardware-hacks/meldung/MakerBot-loescht-3D-Vorlagen-fuer-Waffenteile-1773239.html>; 09.10.2013.
- Harmon, K. 2013: Organe aus den 3-D-Drucker, in: Spektrum der Wissenschaft 6, 19-21.
- Hedges, M./Calder, N 2006: Near Net Shape Rapid Manufacture & Repair by LENS, Nürnberg.
- Heise online 2013: Bundespolizei warnt vor Anschlägen mit Waffen aus dem 3D-Drucker, in Heise online 23.06.2013, <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Bundespolizei-warnt-vor-Anschlaegen-mit-Waffen-aus-dem-3D-Drucker-1894934.html>; 09.06.2013.
- Hobson, B. 2013: Architect explains how he will 3D print a "whole building in one go", in: De Zeen Magazin online 24.01.2013, <http://www.dezeen.com/2013/01/24/3d-printed-house-interview/>; 09.10.2013.
- Kermann, Ch. 2013: Die Mythen um den 3D-Druck, in: Handelsblatt online 25.06.2013, <http://www.handelsblatt.com/technologie/it-tk/it-internet/was-stimmt-wirklich-die-mythen-um-den-3d-druck/8387608.html>; 29.08.2013.
- Kobryn, P.A./Ontko, N.R./Perkins, L.P./Tiley, J.S. 2006: Additive Manufacturing of Aerospace Alloys for Aircraft Structures (NATO RTO Studie), Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- Kubikwerk 2013: Was ist 3d-Druck, in: Kubikwerk, [www.kubikwerk.de/3d-druck/](http://www.kubikwerk.de/3d-druck/); 09.10.2013.
- Lipowsky, Ch. 2012: US-Militär entdeckt 3D-Drucker als Nachschubquelle, in: Gizmodo 18.10.2012, [www.gizmodo.de/2012/10/18/us-militar-entdeckt-3d-drucker-als-nachschubquelle.html](http://www.gizmodo.de/2012/10/18/us-militar-entdeckt-3d-drucker-als-nachschubquelle.html); 09.10.2013.
- Lubbadeh, J. 2013: 3D-Drucker nutzt Knetmasse, in: Technologie Review 8, 22.
- Mancia, F./Marchetti, M./Regi, M./Lionetti, S./Marranzini, A./Mazza, F./Coluzzi, P. 2006: Development of 3D Advanced Rapid Prototyping Multipurpose Structures with Micro and Nano Materials (NATO RTO Studie), Rom.

- Newman, J. 2013: US Navy Investigates the Potential of Additive Manufacturing, in: Rapid Ready Technology 09.04.2013, <http://www.rapidreadytech.com/2013/04/us-navy-investigates-the-potential-of-additive-manufacturing/>; 09.10.2013.
- Niesing, B. 2012: Blutgefäße aus dem Drucker, in: weiter.vorn 1, 60-61.
- Reardon, S. 2012: US military gets into the 3D printing business, in: New Scientist online 18.10.2012, <http://www.newscientist.com/article/mg21628875.100-us-military-gets-into-the-3d-printing-business.html>; 09.10.2013.
- Reißmann, O. 2013: Klon aus dem 3-D-Drucker: Huch, das bin ja ich, in: Spiegel Online 29.07.2013, <http://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/klon-aus-dem-3-d-drucker-huch-das-bin-ja-ich-a-913190.html>; 09.10.2013.
- Reschke, S. 2000: Rapid Prototyping, in: Soldat und Technik 42: 1, 50.
- Reschke, S./Kohlhoff, J./Kretschmer, T. 2001: Werkstofftrends: Rapid Prototyping, in: Werkstoffe in der Fertigung 1, 3.
- Seeger J. 2010: Lob des Hypes, in: iX – Magazin für Professionelle Informationstechnik 3, 3.
- Spiegel online 2013: Die Pistole aus dem 3-D-Drucker schießt, in: Spiegel online 06.05.2013, <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/waffe-aus-dem-3-d-drucker-erste-schuesse-aus-der-gedruckten-pistole-a-898266.html>; 09.10.2013.
- Spiegel online 2013b: 3-D-Drucker produziert Tarnkappe, in Spiegel Online 07.05.2013, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/physik-tarnkappe-kommt-aus-dem-3-d-drucker-a-898529.html>; 09.10.2013.
- Sutcliffe, Ch. 2013: Vortrag: Selective laser melting developments in SLM equipment, in: <http://www.ailu.org.uk/assets/document/presentations/09t07f08/session4/chris%20sutcliffe.pdf>; 09.10.2013.
- Vlcek, J. 2006: Property Investigation of Laser Cladded, Laser Melted and Electron Beam Melted Ti-Al6-V4 (NATO RTO Studie), München.
- Weimert, B./Reschke, S./Kohlhoff, J./Grüne, M. 2010: Werkstofftrends: Additive Fertigungsverfahren, in: Werkstoffe in der Fertigung 3, 3.

## Bildnachweis

- Abbildung 1: Eigene Darstellung
- Abbildung 2: Eigene Darstellung
- Abbildung 3: ER-25 Earplugs blue-black, Foto von Kick the beat, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ER-25\\_Earplugs\\_blue-black.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ER-25_Earplugs_blue-black.JPG), (cc) Public Domain, <http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/>
- Abbildung 4: HP 3D Drucker DesignJet, Foto von innovate360, <http://www.flickr.com/photos/innovate360/6314574352/> (cc) BY 2.0 <http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.en>
- Abbildung 5: Charon Line of 3D Printable AR-15 Lower Receivers, Foto von Shanrilivan, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charon\\_Line\\_of\\_3D\\_Printable\\_AR-15\\_Lower\\_Receivers\\_by\\_Shanrilivan.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charon_Line_of_3D_Printable_AR-15_Lower_Receivers_by_Shanrilivan.jpg), (cc) Public Domain, <http://creativecommons.org/licenses/publicdomain/>

---

## Autoren

**Dr. Annika Vergin** ist seit Dezember 2007 als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Dezernat Zukunftsanalyse tätig und für den Themenbereich Naturwissenschaften verantwortlich. Sie studierte Biologie mit Schwerpunkt Physiologie und Immunologie an der Universität Potsdam und promovierte am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung Potsdam in physikalischer Chemie.

---

**Henning Hetzer** war von Januar 2010 bis Dezember 2011 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Dezernat Zukunftsanalyse und für den Themenbereich Technologie verantwortlich. Zuvor war er im Bereich „Technology Watch“ der Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH (INPRO) tätig. Henning Hetzer hat Informationswissenschaft, Kunstgeschichte und Philosophie (M.A.) an der Freien Universität Berlin studiert sowie ein Studium der Elektrotechnik an der Technischen Universität Dresden und der Fernuniversität Hagen absolviert.

**Fregattenkapitän Wolfgang Heuer** ist seit Oktober 2012 im Dezernat Zukunftsanalyse tätig. Er studierte Wirtschafts- und Organisationswissenschaften mit Schwerpunkt Operations Research an der Universität der Bundeswehr Hamburg. Nach seinem Studium hat er verschiedene Verwendungen an Bord von Minenabweereinheiten und im BMVg im Führungsstab der Marine bekleidet sowie an der Führungsakademie der Bundeswehr in Hamburg den General-/ Admiralstabslehrgang absolviert. Von 2001 bis 2004 war er Kommandeur des 5. Minensuchgeschwaders, von 2004 bis 2007 Dozent für Command, Control & Communications im Fachbereich Führungslehre der Marine an der Führungsakademie der Bundeswehr in Hamburg und von 2009 bis 2012 zuletzt der deutsche Verteidigungsat-taché an der deutschen Botschaft in Rabat/ Marokko.

**OTL i.G. Dr. Jörg Wellbrink** hat 1985 an der Bundeswehruniversität München einen Abschluss als Dipl.-Ing. Elektrotechnik absolviert. 1998 hat er an der Naval Postgraduate School in Monterey, Kalifornien Operations Research (M.Sc. OR) studiert und dort 2003 am MOVES-Institute promoviert. Im Rahmen seiner Dissertation beschäftigte er sich mit der Simulation menschlichen Leistungsverhaltens mit Multiagentensystemen. Später hat er als Projektinitiator und –leiter im IT-AmtBw die Simulations- und Testumgebung der Bundeswehr konzipiert. 2007 war er der erste Leiter einer bundeswehreigenen „Operations Research“-Zelle im Afghanistan Einsatz im PRT KUNDUZ. 2011 war er ein Jahr an der Bundeswehruniversität München in Forschung und Lehre Operations Research eingesetzt. Seit März 2012 ist er kommissarisch als Dezernatsleiter Zukunftsanalyse eingesetzt und verantwortet die Produkte des Dezernates.