

ADDITIVE FERTIGUNGSVERFAHREN (3-D-DRUCK)

TAB-Fokus Nr. 15 zum Arbeitsbericht Nr. 175

März 2017

In Kürze

- › Industrielle additive Fertigungsverfahren ermöglichen die Herstellung hochkomplexer Bauteile und eröffnen neue Optionen für eine kundenindividuelle Serienproduktion. In Deutschland, aber auch weltweit steht die Erschließung der vielfältigen Anwendungspotenziale in den meisten Branchen noch am Anfang.
- › Deutschlands Stärke im internationalen Vergleich besteht vor allem auf der Entwickler- und Herstellerseite, während die Anwenderseite eher Schwächen aufweist. Die Verbreiterung der industriellen Anwenderbasis in Deutschland ist daher eine zentrale Herausforderung der kommenden Jahre.
- › Ein wichtiger Schlüssel hierzu liegt in der Überwindung nichttechnischer Barrieren, die oft und insbesondere für KMU die Einführung von additiven Fertigungsverfahren erschweren. In den bestehenden, überwiegend an technologischen Entwicklungszielen ausgerichteten Förderaktivitäten finden nichttechnische Innovationsfelder bisher wenig Beachtung.
- › Um das Innovationsgeschehen optimal mit den gesellschaftlichen Bedarfen zu verzahnen, sollte die wirtschafts- und sozialwissenschaftliche (Begleit-)Forschung zur additiven Fertigung gestärkt werden.

Worum es geht

Bei der additiven Fertigung wird das gewünschte Bauteil auf der Grundlage eines **digitalen 3-D-Modells** durch **schichtweises Auftragen des Ausgangsmaterials** sukzessive aufgebaut. Dies erlaubt die Herstellung **geometrisch hochkomplexer Erzeugnisse**, die mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht oder nur sehr aufwendig realisierbar wären. Zudem lassen sich ohne großen Aufwand **Erzeugnisse individuell auf Kundenwünsche zuschneiden**.

Additive Fertigungsverfahren sind in der Industrie seit über 25 Jahren für die Herstellung von Prototypen und hochspezialisierten Werkzeugen oder Gussformen fest etabliert. Der technische Fortschritt erlaubt seit rund 10 Jahren zu-

nehmend auch die additive Fertigung **hochwertiger Endprodukte**, was die industriellen Einsatzmöglichkeiten enorm erweitert. Parallel dazu setzte die Entwicklung von technisch einfachen, dafür aber auch **für Privatpersonen erschwinglichen 3-D-Druckern** ein, die immer größere Popularität auch bei weniger technikaffinen Nutzern finden.

Additive Fertigungsverfahren bzw. 3-D-Drucker üben eine besondere Faszination in Öffentlichkeit und Medien aus, nähren sie doch insgesamt die Utopie einer universellen Maschine, mit der jeder nach Belieben materielle Objekte herstellen kann. Dementsprechend **vielfältig und oft stark überzogen sind die Vorstellungen über Leistungsvermögen, Anwendungspotenziale und Auswirkungen der additiven Fertigung**. Anhand einer wissenschaftlich fundierten Darstellung und Bewertung der Entwicklungen in diesem Feld bietet der TAB-Bericht Orientierung und erlaubt eine möglichst realistische Einschätzung der Potenziale.

Stand der Technik: Für den industriellen Routineeinsatz noch nicht ausgereift

In den letzten 30 Jahren wurde eine **Vielzahl unterschiedlicher additiver Fertigungsverfahren** entwickelt, die eine **breite Palette von Ausgangsmaterialien** verarbeiten können.

Ein relativ einfaches Verfahren zur Verarbeitung von **Kunststoffen** ist das **Schmelzschichtverfahren**, bei welchem das Ausgangsmaterial in einer Düse aufgeschmolzen und punktuell oder linienförmig schichtweise aufgebracht wird. Heute erhältliche **3-D-Drucker für Privatanwender** basieren ganz überwiegend auf diesem Verfahren. Ein weiteres Beispiel ist die **Stereolithografie**. Hier wird ein lichtempfindliches Polymer mittels eines Laserstrahls gezielt an den Punkten ausgehärtet, an denen das Bauteil weiter wachsen soll. Damit sind sehr feine Strukturen im Mikrometerbereich herstellbar.

Auftraggeber

Ausschuss für Bildung, Forschung und
Technikfolgenabschätzung
+49 30 227-32861
bildungundforschung@bundestag.de

Metalle haben gegenüber Kunststoffen einen wesentlich höheren Schmelzpunkt, weswegen hier typischerweise **aufwendige und teure Hochleistungslasersysteme** zum Einsatz kommen. Beim **Lasersintern/Laserschmelzen**, den am weitesten verbreiteten metallbasierten Verfahren, verschmelzen Laserstrahlen Schicht für Schicht Metallpulver an den gewünschten Stellen und fügen es so zusammen. Solche Verfahren sind vor allem in der Industrie von Interesse und eignen sich für Privatanwender eher nicht.

Für den **Routineeinsatz** additiver Fertigungsverfahren **in der industriellen Produktion** bestehen derzeit diverse **technische Herausforderungen**, insbesondere für größere Serien. Die bislang **niedrigen Aufbauraten** schränken die Nutzungsmöglichkeiten vor allem bei größeren Bauteilen stark ein. Von Nachteil sind auch die heute noch überwiegend **manuell vorzunehmenden vor- und nachgelagerten Produktionsschritte**. Schließlich bestehen **erhebliche Wissenslücken hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften** additiv gefertigter Bauteile, was aufwendige Qualitätskontrollen nötig macht. Die **Potenziale der additiven Fertigung** werden daher heute insbesondere bei **hochspezialisierten Anwendungen in der Einzel- und Kleinserienfertigung** gesehen.

Weitere Materialien lassen sich mit additiven Verfahrensprinzipien verarbeiten, darunter **Beton/Zement, Textilfasern, bestimmte Nahrungsmittel** oder **lebende Zellen**. Die Entwicklungen befinden sich hier in einer **sehr frühen Phase der Erforschung und Erprobung**.

Anwendungen und Potenziale

Korrespondierend mit der breiten Verfahrens- und Materialpalette haben **additive Fertigungsverfahren zur Herstellung von Endprodukten vielfältige Anwendungspotenziale** in so diversen Branchen wie Maschinen- und Anlagenbau, Luft- und Raumfahrt, Automobilbau, Elektronik, Medizin, Bauwesen, Kunst, Design, Bekleidung und Sportartikel, Spielwaren, Nahrungsmittel und nicht zuletzt auch Militär- und Rüstungstechnik.

Die **Erschließung der Potenziale steht in den allermeisten Branchen noch am Anfang**. Vorreiter sind die **Dentalindustrie** mit jährlich über 10 Mio. additiv hergestellten Brücken und Kronen sowie die **Hörgeräteindustrie**, in der bereits im Jahr 2010 40% der Weltproduktion an Ohrpassstücken additiv erfolgte. Von Vorteil sind hier die geringen Bauteilabmessungen, wodurch sich trotz bestehender niedriger Aufbauraten große Stückzahlen additiv fertigen lassen.

Unter den klassischen Industriezweigen gehört die **Luft- und Raumfahrttechnik** zu den Pionieren. Ziel ist die Herstellung **geometrisch komplexer Leichtbauteile**, die gegenüber konventionellen Teilen Gewichtseinsparungen erlauben. Die

erzielbaren Treibstoffeinsparungen rechtfertigen den hohen Aufwand der additiven Fertigung. Eine weitere Pionierbranche ist die **Medizintechnik**. Hier steht die Herstellung **individueller Implantate** (Knieprothesen, künstliche Hüftgelenke etc.) im Fokus.

Bei vielen potenziellen Einsatzfeldern von additiven Fertigungsverfahren handelt es sich um **kreative** (z. B. Designkleidung oder -möbel), eher **spielerische** (z. B. Zuckerskulpturen, Spielzeug) oder **visionäre Anwendungen** (z. B. Häuserbau, Herstellung von menschlichen Gewebeteilen).

Anwendungsbeispiele von additiven Fertigungsverfahren

Für die Herstellung von individuellen **Ohrpassstücken** für Hörgeräte ist die **Stereolithografie** etabliert. Das erforderliche 3-D-Modell des Gehörgangs wird mithilfe eines Silikonabdrucks oder per 3-D-Laserscan erstellt.



In der **Dentalindustrie** gehört das **Lasersintern** bereits zu den Standardverfahren. Die Abbildung zeigt drei Phasen des additiven

Herstellungsprozesses: Links die Brücke unmittelbar nach dem Bauprozess (noch mit Stützstrukturen), auf den vorderen Zähnen die polierte, hinten die mit Keramik verblendete Brücke.

Deutschland im internationalen Vergleich: Entwicklung stark, Anwendung eher schwach

Deutschlands Stärke im internationalen Vergleich liegt bei der **Entwicklung bzw. Herstellung von Verfahren, Materialien und Anlagen** für die additive Fertigung, insbesondere im Metallbereich. In deutlicher Diskrepanz dazu lässt sich eine augenfällige **Schwäche auf der Anwenderseite** konstatieren, vor allem im Vergleich mit den USA.

Deutschlands Technologieführerschaft bei den konventionellen Fertigungsverfahren erweist sich hier möglicherweise als ambivalent: Während andere Länder erst durch die additive Fertigung bestimmte komplexe Bauteile herstellen können, fertigen deutsche Unternehmen entsprechende Erzeugnisse schon seit Jahren mit konventionellen Verfahren. Dadurch könnten **aufkommende, unter Umständen disruptive Anwendungspotenziale der additiven Fertigung hierzulande**

zu spät erkannt und erschlossen werden. Die **Verbreiterung der industriellen Anwenderbasis in Deutschland** ist daher eine zentrale Herausforderung der kommenden Jahre.

Ein generelles Problem ist, dass die **Bekanntheit der additiven Fertigung in der deutschen Industrie** insbesondere im Hinblick auf konkrete Anwendungspotenziale **bisher nur schwach ausgeprägt** ist. Dies trifft namentlich auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU) zu, denen zudem oftmals **entscheidungsrelevante Informationen fehlen**, weil Branchen- und Technologiestandards für die additive Fertigung erst noch geschaffen werden müssen. In Verbindung mit der Vielfalt an

Spektrum an Handlungsoptionen. Von zentraler Bedeutung ist die **Überwindung von nichttechnischen Barrieren**, z. B. durch Beratungs- und Informationsangebote, den Ausbau von Schulungs- und Qualifizierungsangeboten oder die Förderung von Pilotlinien, Austausch- oder Innovationsplattformen. In den bestehenden, überwiegend an technologischen Entwicklungszielen ausgerichteten Forschungs- und Entwicklungsprogrammen finden nichttechnische Innovationsfelder bisher wenig Beachtung. **Gefordert sind** hier aber keineswegs nur die **Politik** und die **öffentliche Hand** (Ministerien, Institutionen der Forschungsförderung), sondern auch Akteure aus **Wirtschaft, Wissenschaft und Bildung** (Universitäten, angewandte Forschung, Berufsakademien) oder **Intermediäre** (Verbände, Kammern).

Folgen und Risiken der additiven Fertigung

Aktuell dominieren technologische Entwicklungsziele die nationalen und internationalen Forschungsanstrengungen zur additiven Fertigung. Eine **wirtschafts- und gesellschaftswissenschaftliche Folgenforschung ist erst im Entstehen** begriffen, sodass **belastbare Einschätzungen oder verlässliche Prognosen** zu den Auswirkungen der additiven Fertigung **derzeit nicht möglich** sind. Angesichts der erwarteten rasanten Entwicklungen in diesem Feld sollte die interdisziplinäre (Begleit-)Forschung ebenfalls energisch vorangetrieben werden.

Vielfältige wirtschaftliche Auswirkungen werden vermutet: Die werkzeuglose und weitgehend virtuelle additive Fertigung eröffnet neue Möglichkeiten für eine kundenindividuelle, bedarfsorientierte und/oder dezentralisierte Produktion. Dies könnte in den betroffenen Märkten zu **Veränderungen in den bestehenden Produktions-, Wertschöpfungs- und Logistikstrukturen** führen. Neue Akteure (z. B. Start-up-Unternehmen, technologisch bisher weniger fortschrittliche Länder) könnten mithilfe der additiven Fertigung mit innovativen Produkten und Geschäftsmodellen in etablierte Märkte vordringen, was neue **Akteurskonstellationen** und gegebenenfalls **Produktionsverlagerungen** zur Folge hätte. Schließlich ist wie bei jedem technologischen Fortschritt, der zu Effizienzverbesserungen in der Produktion führt, auch bei der additiven Fertigung mit **Auswirkungen auf die Art und Anzahl der Beschäftigten** zu rechnen.

Umweltwirkungen der additiven Fertigung sind ungewiss: Für additive Fertigungsverfahren lassen sich positive (z. B. hohe Materialeffizienz, Leichtbaupotenziale), aber auch mögliche negative Umweltwirkungen identifizieren (z. B. hoher Energieverbrauch im Fertigungsprozess, aufwendiges Recycling der Produkte). **Die Frage, ob additive gegenüber konventionellen Produktionsszenarien in der Gesamtbilanz ökologische Vorteile aufweisen, ist noch weitgehend offen.** Sie lässt sich auch nicht pauschal, sondern bes-



Große Potenziale werden in der **Luftfahrtindustrie** gesehen. Durch seine bionische Struktur erreicht dieser durch **Lasersintern** gefertigte Kabinenhalter (unten) eine Gewichtseinsparung von über 30% im Vergleich zu seinem konventionell hergestellten Pendant (oben), erfüllt aber dieselben Vorgaben hinsichtlich Funktionalität und Festigkeit.

Pulverförmige **Lebensmittel** (Zucker, Mehl etc.) lassen sich mit flüssigen Bindern (z. B. Wasser) verkleben und so schichtweise zu filigranen Figuren formen.



Mit **3-D-Druckern für Privat-anwender** lassen sich aufgrund der relativ simplen Gerätetechnik bis auf Weiteres nur vergleichsweise **einfache Kunststoffgegenstände** herstellen. Das oft skizzierte Zukunftsbild, wonach künftig Privatpersonen ihren Bedarf an diversen Alltagsgegenständen durch Eigenproduktion decken, wird sich – wenn überhaupt – noch für längere Zeit nicht realisieren lassen.



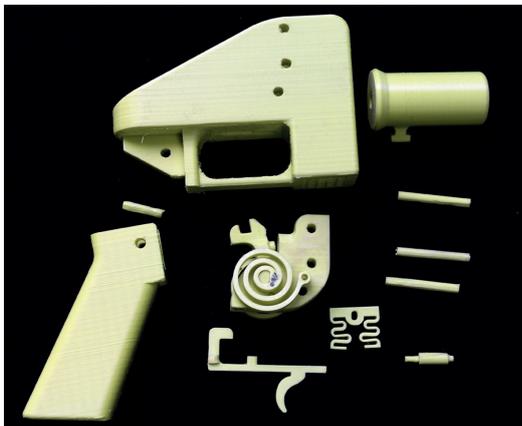
Verfahren haben viele KMU **Schwierigkeiten bei der Identifikation von Anwendungspotenzialen, neuen Geschäftsmodellen und der passenden Einstiegstechnologie.** Hinzu treten Herausforderungen bei der Erschließung des technischen Know-hows zum Einsatz der Verfahren, weil die **erforderlichen Kompetenzen und Qualifikationen vielfach nicht in ausreichendem Maße vorhanden** sind. Da in Deutschland in Bereichen mit den gegenwärtig größten Anwendungspotenzialen für die additive Fertigung vorrangig KMU aktiv sind, wirken sich diese Faktoren stark diffusionshemmend aus.

Zur **Unterstützung der anwenderseitigen Diffusion** der additiven Fertigung in die deutsche Industrie gibt es ein **breites**

tenfalls für einzelne Produktkategorien in Abhängigkeit von den betrachteten Produktionsszenarien und Anwendungskontexten der Produkte beantworten.

Risiken für die innere und äußere Sicherheit: Additive Fertigungsverfahren sind aufgrund ihrer ausgeprägten Flexibilität prädestiniert für **Dual-Use-Anwendungen**. Durch sie könnten Länder, die bisher technisch oder aufgrund von Handelsbeschränkungen dazu nicht in der Lage waren, befähigt werden, komplexe Rüstungsgüter herzustellen. Ein Ansatz, um einer möglichen Proliferation von Rüstungstechnologien mithilfe der additiven Fertigung entgegenzuwirken, wäre, die **Ausfuhr zumindest besonders leistungsstarker Anlagen und dazugehöriger Materialien genehmigungspflichtig** zu machen.

Mit **privaten 3-D-Druckern** lassen sich auch **Schusswaffen und andere sicherheitsrelevante Gegenstände** aus Kunststoff vergleichsweise einfach herstellen. Damit könnten bestehende Sicherheitssysteme (z.B. Metalldetektoren) und staatliche Schutz- und Kontrollmechanismen (z.B. Waffenregistrierung) ausgehebelt werden. Auch wenn Schusswaffen aus dem 3-D-Drucker heute noch primitiver Bauart sind (Abbildung) und höchst unzuverlässig funktionieren, sollten **potenzielle Gefahren angesichts des raschen technischen Fortschritts nicht unterschätzt** werden. Ansätze zur Eindämmung der Risiken wären die Einschränkung der Verfügbarkeit von digitalen 3-D-Modellen zur Waffenherstellung im Internet oder technische Schutzmechanismen in 3-D-Druckern (z.B. Filtersoftware).



Quelle: CHIP/Martin Jäger

TAB-Arbeitsbericht Nr. 175

Additive Fertigungsverfahren (3-D-Druck)

Claudio Caviezel, Reinhard Grünwald, Simone Ehrenberg-Silies, Sonja Kind, Tobias Jetzke, Marc Bovenschulte



Projektinformation

www.tab-beim-bundestag.de/de/untersuchungen/u20300.html

Projektleitung und Kontakt

Dr. Claudio Caviezel
+49 30 28491-116
caviezel@tab-beim-bundestag.de

Trotz unklarer Rechtslage kein dringender gesetzgeberischer Handlungsbedarf

Die Besonderheiten der additiven Fertigung werfen **zahlreiche rechtliche Fragestellungen** auf. Dies betrifft insbesondere den **Schutz des geistigen Eigentums** (z. B. Schutzfähigkeit für digitale 3-D-Modelle), die **Produktsicherheit** (z. B. Herstellerpflichten bei kundenindividuellen Produkten) sowie **haftungsrechtliche Fragestellungen** (Wer sind angesichts der regelmäßig vielen Beteiligten an dem in weiten Teilen virtuellen Produktentstehungsprozess die haftungsverantwortlichen Hersteller?).

Die teilweise noch unklare Rechtslage ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass sich infolge der jungen Technologie **bisher keine konsolidierte Rechtsprechung speziell zur additiven Fertigung entwickeln konnte**. Nach vorherrschender Meinung reichen die bestehenden Normen aus, um im Wege der Auslegung für Rechtsklarheit zu sorgen. Aus heutiger Sicht ist somit **kein akuter gesetzgeberischer Handlungs- bzw. Regelungsbedarf** zu konstatieren.

Nicht auszuschließen ist jedoch, dass sich gegebenenfalls vorhandene Regelungslücken erst dann identifizieren lassen, wenn die ersten komplexeren Streitfälle vor Gericht verhandelt werden. Die weitere Entwicklung der Rechtsprechung im Kontext der additiven Fertigung sollte daher aufmerksam beobachtet werden.

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) ist eine selbstständige wissenschaftliche Einrichtung, die den Deutschen Bundestag und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels berät. Das TAB wird seit 1990 vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) betrieben. Hierbei kooperiert es seit September 2013 mit dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, dem IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung entscheidet über das Arbeitsprogramm des TAB, das sich auch aus Themeninitiativen anderer Fachausschüsse ergibt. Die ständige »Berichterstattergruppe für TA«, besteht aus je einem Mitglied der Fraktionen: Dr. Philipp Lengsfeld (CDU/CSU), René Röspel (SPD), Ralph Lenkert (Die Linke), Harald Ebner (Bündnis 90/Die Grünen) und der Ausschussvorsitzenden, Patricia Lips (CDU/CSU).