



BDI

Bundesverband der
Deutschen Industrie e.V.

POSITIONSPAPIER

Implikationen des 3D-Drucks für die Rohstoff- sicherung der deutschen Industrie

15/01/2016

I. Hintergrund

- Die Additive Fertigung beschreibt einen Prozess, bei dem ein Bauteil auf Basis eines dreidimensionalen, digitalen Bauplans durch das schichtweise Auftragen von Material aufgebaut wird. Anschließend werden die Präzisionsteile durch spanende Prozesse zum fertigen Funktionsbauteil veredelt. Das Verfahren wird daher auch regelmäßig als „3D-Druck“ bezeichnet. Der 3D-Druck stellt dabei keine gänzlich neue Technologie da – bereits 1984 wurde das Verfahren vom Amerikaner Chuck Hull entwickelt. Dies machte einen ganz neuen industriellen Herstellungsprozesses möglich, der eine Alternative darstellt zu subtraktiven Verfahren, bei dem ein Bauteil durch Stanzen und Fräsen von Platten und Gussteilen entstand.
- In vielen Bereichen findet der 3D-Druck zwischenzeitlich Anwendung: Neben 3D-Druckern für den Privatgebrauch, mit denen personalisierte „Gadgets“ oder auch Lebensmittel hergestellt werden können, ist die Anwendung in der Verarbeitenden Industrie zur Herstellung von Prototypen ebenso etabliert wie in der Medizintechnik für passgenaue Implantate. Durch die erfolgreiche Weiterentwicklung der Systeme bzw. Bauräume vom Druck im Miniatur-Format hin zu einem „industriellen Maßstab“ und die ständige Steigerung der Laserleistung und Druckgeschwindigkeit hat sich mittlerweile ein breites Anwendungsfeld für die Technologie eröffnet.
- Die additive Fertigung hat in der jüngsten Vergangenheit vor allem im Metallbereich erheblich an Bedeutung gewonnen und wird bereits heute in der vorgelagerten Industrie, der sogenannten Upstream-Industrie (u. a. beim Gießen, bei der Spanabhebung und beim Schmieden) und zunehmend auch von Unternehmen im Downstream-Bereich eingesetzt. Dabei werden Hochleistungsmetalle in Pulver-, Draht- oder Pastenform verarbeitet. Je nach Anforderung kommen Titan, Aluminium-Silizium-Legierungen, Legierungen auf Nickelbasis (wie Inconel 625) sowie viele weitere Nichteisen-Metalle zum Einsatz.
- Vor dem Hintergrund der zunehmenden Anwendung des additiven Verfahrens, auch in der Metallverarbeitung, hat der 3D-Druck somit das Potenzial, sowohl den Rohstoffbedarf als auch die Art der Rohstoffsicherung für die deutsche Industrie zu verändern.

Überblick über die verschiedenen Verfahren des Metalldrucks

- Der größte Teil der weltweiten additiven Fertigungssysteme (85 bis 90 Prozent) nutzt derzeit Lasertechnologien wie die Stereolithographie bzw. das Selektiven Lasersintering bzw. -melting. Bei der Stereolithographie (SLA) wird lichtempfindlicher Kunststoff in flüssiger Form auf Stützstrukturen aufgetragen und durch einen UV-Laser schichtweise zum Erstarren gebracht. Die Stützstrukturen werden nach dem Druck manuell entfernt. Beim Selektiven Lasersintering (SLS) bzw. Selektiven Lasermelting (SLM) liegt das Ausgangsmaterial in Pulverform vor – Glas, Keramik, Metall, Kunststoff – und wird durch einen Laser Schicht für Schicht verschmolzen. Vorteil dieser Verarbeitungsweise gegenüber den anderen beiden Verfahren ist, dass das fertige Objekt eine höhere Hitzebeständigkeit aufweist.
- Beim Elektronenstrahlschmelzen (Electron Beam Melting) wird nach einem ähnlichen Prinzip das Metallpulver anstelle eines Lasers durch einen Elektronenstrahl unter Vakuum verschmolzen.
- Beim Fused Deposition Modeling (FDM) wird flüssiges Rohmaterial wie beispielsweise Kunststoff durch eine Düse, ähnlich wie bei einer Heißklebepistole, Schicht für Schicht aufgetragen, der anschließend erstarrt. Analog werden, insbesondere im asiatischen Raum, auch bereits mit druckbaren Baustoffen ganze Häuser und komplexe Villen mit der Technologie gefertigt.
- Nach einem ähnlichen Prinzip funktioniert das 3D Metal Printing (3D-Siebdruck): Durch ein Sieb wird eine auf Metallpulvern basierende Paste Schicht für Schicht auf ein Trägermaterial aufgetragen. Die so aufgebaute Struktur wird dann durch Wärmezufuhr zu Bauteilen verfestigt.
- Neben der Pulver- und Pasten-Form kommt auch Metalldraht als Ausgangsmaterial für den 3D-Druck in Frage. Während bei der Laser-Metal-Deposition-wire-Technologie (LMD-w) der Metalldraht beim Auftragen durch einen Laser geschmolzen wird, kommt alternativ auch der Einsatz eines Elektronenstrahls zum Aufschmelzen des Drahts in Frage.
- Darüber hinaus befindet sich derzeit eine Vielzahl weiterer Technologien zur additiven Fertigung im Metallbereich in der Entwicklung. Es lässt sich daher heute noch keine Prognose treffen, ob sich am Ende eine bestimmte Technologie in der industriellen Anwendung durchsetzen wird.

Marktentwicklung der 3D-Drucksysteme

- Der globale Markt für 3D-Drucksysteme und -dienstleistungen ist in den vergangenen Jahren rasant gewachsen, allein in 2014 um 35 Prozent auf vier Milliarden US-Dollar. Es wird davon ausgegangen, dass bei einer Fortsetzung dieses Trends bereits 2016 ein Marktumsatz mit 3D-Drucksystemen und 3D-Dienstleistungen in Höhe von über sieben Milliarden US-Dollar erreicht wird (Wohlers Report 2015).
- Bei den AM-Systemherstellern nimmt die deutsche Industrie eine Spitzenposition ein. Ihr Marktanteil liegt bei 70 Prozent für Powder-Bed-Systeme.
- Bereits heute kommt 3D-Druck zunehmend in der verarbeitenden Industrie zum Einsatz, und zwar über die Erstellung von Prototypen hinaus. Je komplexer und teurer die bisherige Herstellung eines Bauteils ist, zum Beispiel wenn teure Spezialwerkzeuge benötigt werden, oder je „wertvoller“ eine Gewichtsreduzierung bei einem Bauteil in der Nutzungsphase ist, umso eher gibt es einen Business Case für die Herstellung im additiven Verfahren. In der Produktionsphase sind daher vor allem Rohstoffpreise, in der Nutzungsphase in der Regel Energiepreise wichtige Einflussfaktoren für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit.
- Das „Additive Manufacturing“ ist damit besonders für die Downstream-Industrie relevant, die damit hochkomplexe, teure Bauteile und Spezialanfertigungen ersetzen können, die sonst in geringer Stückzahl bzw. individuell gefertigt werden. Dazu zählen:

- Luft- und Raumfahrtindustrie
 - Automobil-Industrie
 - Werkzeug- und Formenbau
 - Maschinen- und Anlagenbau
 - Medizintechnik.
- Aber auch für die Upstream-Industrie, welche die neue Technik im Produktionsprozess nutzt, stellt der 3D-Druck einen neuen Absatzmarkt dar.
 - Was die Leistung betrifft, werden der Technologie für die Zukunft weitere Entwicklungssprünge vorausgesagt: Die Drucksysteme selbst werden größer und schneller und somit für einen größeren Bereich von Anwendungen und damit Industriezweigen interessant. Wissenschaftler vom Laserzentrum Nord beispielsweise gehen in den nächsten zehn bis 20 Jahren von einer Vervielfachung der Druckgeschwindigkeit um den Faktor 100 oder sogar mehr aus.

II. Betrachtung der Chancen des 3D-Drucks:

- Da beim 3D-Druck keine hohen Rüstkosten anfallen und dadurch die Produktionsmenge nicht entscheidend für die Höhe der Stückkosten ist, ist auch eine Produktion geringer Losgrößen und kundenspezifischen Einzelanfertigen zunehmend wirtschaftlich. Das ermöglicht eine Produktion „on demand“, was die Lagerhaltungskosten reduziert. Jedoch wird sich aufgrund der derzeit noch niedrigen Bauraten der Einsatz des 3D-Drucks in der Serienanfertigung zunächst auf kleine bis mittlere Stückzahlen begrenzen.
- Relativ stark verbreitet ist der 3D-Druck in einer Vielzahl von Industrien daher bereits zum Anfertigen von Prototypen, insbesondere unter dem Stichwort „Rapid Prototyping“. Mit dem additiven Verfahren können die Entwicklungszeit und vor allem -kosten reduziert werden. Innovationen werden so vereinfacht und beschleunigt.
- Verfügt ein Unternehmen über ein eigenes Drucksystem, wäre sogar die lokale Produktion „on site“ möglich, was mit einer Reduzierung von Lieferzeiten und Transportkosten einherginge. Dieser Einsparungseffekt vervielfacht sich in Fällen, bei denen bisher eine Vielzahl von Einzelteilen über unterschiedliche Kanäle bis zum Produktions- bzw. Zusammensetzungsstandort transportiert werden mussten.
- Der dreidimensionale Druck ermöglicht zudem die Umsetzung bionischer Designs, beispielsweise nach dem Vorbild von Knochen- oder Blattstrukturen, mit denen sich ein Objekt bei gleicher oder höherer Stabilität mit geringerem Materialeinsatz herstellen lässt. Dadurch kann das Gewicht eines Bauteils deutlich reduziert werden. In der Praxis wurden bereits, im Fall eines Bauteils aus Metall, Gewichtsreduzierungen von 30 Prozent erzielt.¹
- Komplexe Objekte, die bisher aus mehreren Einzelteilen zusammengefügt werden mussten, können nunmehr in einem Stück gedruckt werden. Dadurch fällt ein wesentlicher Teil des Montageaufwands und der benötigten Werkzeuge, die stellenweise speziell angefertigt werden müssen, weg.
- Ein besonders interessantes Einsatzgebiet stellt das Drucken von Ersatzteilen dar. Durch die Möglichkeit, kurzfristig bei Bedarf ein Ersatzteil nachzudrucken, werden Reparaturzeiten verkürzt und Lagerhaltungskosten eingespart. Nicht mehr auf dem Markt verfügbare Ersatzteile, deren Herstellung nicht wirtschaftlich wäre, ließen sich mit dem 3D-Drucker nachproduzieren. Dies erhöht die Lebensdauer und damit die Ressourceneffizienz eines Produkts. Zudem kann auch direkt auf bestehende Bauteil „gedruckt“

¹ <http://www.lzn-hamburg.de/presse-co/aktuelles/aktuell-einzelansicht/article/kooperationsprojekt-zwischen-airbus-und-lzn-praemiert.html>

werden, wodurch ein vollständiger Austausch eines Teils vermieden und so Reparaturkosten und -zeit gesenkt werden können.

- Bei der Betrachtung der Chancen ist gleichzeitig darauf hinzuweisen, dass der 3D-Druck für Metalle heute noch um Faktoren teurer ist als traditionelle subtraktive Massenfertigungstechniken.² So ist die additive Fertigung aus Kostensicht heute noch nicht wettbewerbsfähig gegenüber Serienfertigungen im Gussverfahren. Eine Umstellung des Verfahrens von Gießen/Fräsen auf 3D-Druck kann bei geringen Losgrößen bzw. Einzelanfertigungen attraktiv werden, oder wenn den höheren Produktionskosten eine entsprechende Einsparung bzw. Leistungsverbesserung in der Nutzungsphase gegenübersteht.

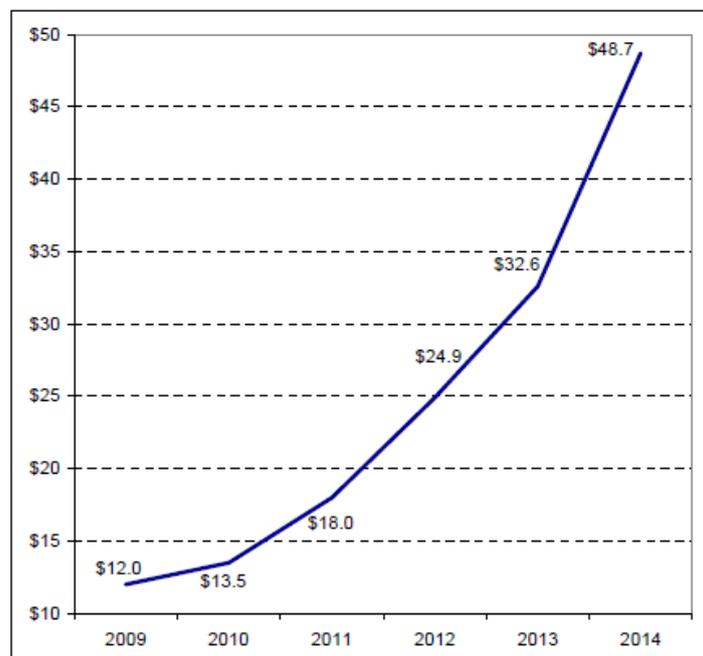
III. Implikationen für die Rohstoff-Lieferkette

Betrachtung des Rohstoffbedarfs und -einsatzes

- Durch die zunehmende Etablierung von 3D-Drucksystemen könnte sich langfristig die Angebotssituation auf den Rohstoffmärkten ändern. So hat sich die Nachfrage nach speziellen Metallpulvern für den 3D-Druck auf der einen Seite von 2009 bis 2014 vervierfacht (siehe Grafik: Wohlers Report 2015) – andererseits stellt auf Absatzseite der Markt von geeignetem Metallpulver für 3D-Drucksysteme für die etablierten Pulverhersteller bislang nur eine Nische dar.

Metals

Revenue from metals for additive manufacturing grew 49.4% in 2014 to an estimated \$48.7 million, up from \$32.6 million in 2013 and \$24.9 million in 2012. Wohlers Associates began to track the sales and growth of metals in 2009, as shown in the following graph. The estimates are in millions of dollars.



Source: Wohlers Associates, Inc.

² Atzeni, Eleonora and Alessandro Salmi. (2012) "Economics of Additive Manufacturing for End-Usable Metal Parts." International Journal of Advanced manufacturing Technology. 62: 1147-1155.

- Um Metalle für die additive Fertigung in Pulverform zu bringen, wird es atomisiert bzw. „verdüst“: Dazu wird das Metall zunächst in einem Vakuum aufgeschmolzen, um das flüssige Metall mittels Zufuhr eines starken Gas-Stroms (z. B. Argon oder Helium) in sehr feine Tröpfchen aufzubrechen, das dann in erstarrter Form als Metallpulver vorliegt. Anschließend werden die Partikel, deren Körnung zu groß für die additive Verarbeitung ist, ausgesiebt und wieder eingeschmolzen. Das aufwendige Verfahren drückt sich in einem höheren Pulverpreis gegenüber den herkömmlichen Metallpulvern für andere Anwendungen aus. Diese werden zwar auch im Verdüungsverfahren hergestellt, allerdings unter Einsatz von Wasser anstelle von Gas, mit dem Ergebnis, dass die Metallkörnchen weniger gleichmäßig pulverisiert und somit für den 3D-Druck eher ungeeignet sind. Demzufolge existieren auf dem Markt nur relativ wenige Anbieter von Metallpulver, das in der additiven Fertigung eingesetzt werden kann.
- Die Nutzer der 3D-Drucksysteme beziehen das Pulver derzeit vor allem über die Drucksystem-Anbieter. Es treten mittlerweile aber auch zunehmend spezialisierte Metallpulver-Hersteller in den Markt ein, die sich am Bedarf der additiven Fertigung ausrichten und Pulver dafür entsprechend „validieren“. Es wird davon ausgegangen, dass mit steigendem Volumen des 3D-Druck-Marktes die Herstellung der speziellen Pulver zunehmend auch für größere Pulver-Anbieter interessant wird und dem Angebot entsprechend Auftrieb gibt.
- Bereits heute kommen eine Reihe von Metallen wie Edel- und Werkzeugstahl, Titan, Aluminium oder Kobalt- sowie Nickel-basierte Legierungen für die Verwendung im 3D-Druck zum Einsatz. Grundsätzlich können alle schweißbaren Metalle auch „gedruckt“ werden, die Praxistauglichkeit wird aber von zwei Faktoren eingeschränkt: Zum einen muss es in einer speziellen – idealerweise sphärischen – Pulverform vorliegen, die eine hohe Homogenität und Fließfähigkeit aufweist. Zum anderen können sich die physikalischen Eigenschaften des Metalls nach dem schichtweisen Verschmelzen durch den Laser anders darstellen als beim Gussverfahren und sind dann ggf. nicht mehr für die späteren Nutzungsanforderungen ausreichend.
- Ob sich für ein Bauteil bzw. für ein Metall eine additive Fertigungsweise anbietet, hängt auch von der Anwendung bzw. den Nutzungsanforderungen ab. Hier können sich die physikalischen Eigenschaften von gegossenen gegenüber „gedruckten“ Teilen nennenswert unterscheiden; beispielweise stellte eine deutsche Firma im Test von gedruckten Stahl-Schaufeln für seine Gasturbinen fest, dass diese die herkömmlichen Schaufeln nicht ersetzen können. Grund dafür ist, dass beim Metallguss der Stahl erst verflüssigt wird und dann langsam erkaltet – dies führt zu der notwendigen hohen Zähigkeit, damit die Schaufel den Fliehkräften der rotierenden Turbine standhält. Beim 3D-Druck erhitzt der Laser den Stahl nur kurz und erzeugt damit eine andere Struktur, die für diese Anwendung zu schwach ist. Für andere Anwendungen sind aber auch durchaus bessere Eigenschaften zu erwarten.
- Perspektivisch bietet der 3D-Druck das Potenzial zur Entwicklung ganz neuer, maßgeschneiderter Werkstoffkombinationen mit einer einzigartigen Kombination der physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Elemente. Zukünftig könnten daher auch weitere Rohstoffe in Pulverform nachgefragt werden, die bislang in manchen Anwendungen noch nicht eingesetzt werden konnten, wie beispielsweise Wolfram, Molybdän, Tantal oder Niob.

Implikationen für Rohstoffverarbeitende Unternehmen

- Wird ein Bauteil additiv gefertigt, fällt in vielen Fällen ein Teil der zuvor notwendigen Zwischenverarbeitungsschritte – wie Fräsen, Bohren, Drehen – weg; ersetzt ein gedrucktes Objekt mehrere einzelne zusammengesetzte Bauteile, entfällt zudem ein wesentlicher Teil des Montageaufwands und Werkzeugs.
- Darüber hinaus hat der 3D-Druck auch Implikationen für den Logistik-Bereich. Die Materialströme von der Mine bis zum Endproduzent werden ggf. weniger „Umwege“ für einzelne Verarbeitungsstufen machen. Möglicherweise wird das Pulver direkt am Ort der Erzgewinnung hergestellt und direkt an den Abnehmer zur Herstellung des Produkts transportiert.

- Für die verarbeitende Industrie und insbesondere Endprodukthersteller, die bisher Komponenten bezogen und endmontiert haben, stellt sich durch die Potenziale des 3D-Drucks möglicherweise zukünftig wieder die Frage: „Make or Buy“?
- Für die Unternehmensstrategie hätte die „Make“-Entscheidung zur Folge, dass in Zukunft nicht mehr (nur) die Beschaffung von Komponenten oder Halbzeugen sichergestellt werden muss, sondern auch der Bezug des Pulvers und des digitalen „Bauplans“.
- Die bisher eingekauften Komponenten müssen für den 3D-Druck neu konstruiert und in Form einer „CAD“-Datei digitalisiert werden, die die Drucksysteme als Vorlage benötigen. Wenn die dafür notwendige Expertise im Unternehmen nicht vorhanden ist, bietet sich dafür ggf. die Zusammenarbeit mit dem Zulieferer bzw. der Metallproduzenten selbst an, von dem man das Bauteil bisher bezogen hat. Alternativ kann man sich dafür auch Unterstützung von einer auf die additive Fertigung spezialisierten Forschungseinrichtung suchen. Generell ist für das Feintuning des Pulvers ein tiefes Verständnis für das jeweilige Metall vonnöten.
- Mit der zunehmenden Verbreitung der additiven Fertigung müssen die Unternehmen ihre Firmenstrategie neu überdenken. Treten sie selbst als Rohstoffnachfrager auf, geht damit die Notwendigkeit einher, Risiken des Rohstoffbezugs zu identifizieren, ggf. langfristige Bezugsverträge abzuschließen oder Bezugsquellen zu diversifizieren, und sich gegen Preisschwankungen abzusichern.
- Die durch den 3D-Druck unterstützte Fertigung „on demand“ könnte zu einer deutlichen Reduktion der Lagerhaltung führen, sowohl des Ausgangsmaterials, das durch den niedrigen Anteil an Produktionsabfall in geringerem Umfang benötigt wird, als auch des fertigen Produkts. In der Folge würde im Produktionsprozess deutlich weniger Kapital gebunden und die damit verbundenen finanziellen Risiken von Wertveränderungen reduziert.
- Abhängig von der weiteren Entwicklung der Kostenfaktoren Arbeit und Energie, die in der Vergangenheit in manchen Fällen zu einer Verlagerung der Produktion ins Ausland, tendenziell eher in asiatische Länder, geführt haben, könnte in Zukunft eine Produktion mittels additiver Fertigung in Deutschland wieder wirtschaftlich sein. Wahrscheinlicher als ein „Zurückdrehen“ der Globalisierung ist jedoch, dass 3D-Drucker in Zukunft dort zum Einsatz kommen, wo deren Erzeugnis verwendet oder vertrieben wird.

IV. Bewertung und Handlungsempfehlungen

- Das 3D-Druck-Verfahren hat das Potenzial, die deutsche Metallindustrie noch leistungsfähiger, effizienter, aber auch zukunftsfest zu machen. Ein aus Rohstoffsicht interessanter Aspekt sind die völlig neuen Möglichkeiten zum Einsatz von Rohstoffen und zur Entwicklung maßgeschneiderter Werkstoffkombinationen, die in konventionellen Verfahren so bisher nicht gegeben sind. Forschungsprojekte im Bereich der additiven Fertigung bzw. der Materialforschung sollten daher einen Schwerpunkt auf die Entwicklung neuer Materialien speziell für den industriellen 3D-Druck legen. Auch bei der Frage nach der Recyclingfähigkeit von Werkstoffkombinationen und effizienten Verfahren zur Pulverherstellung besteht Forschungsbedarf. Deutschland kann bereits auf ein umfangreiches Know-how im Bereich der Metallurgie zurückgreifen (u. a. Stifterverband Metalle, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde, Metallurgie Europe) und ist Standort von einer Reihe von international anerkannten Hochschulen in diesem Bereich. Um auf das vorhandene Know-how aufzubauen und dieses weiterzuentwickeln ist es wichtig, das Thema additive Fertigung frühzeitig in die Ausbildung an technischen Hochschulen zu integrieren.
- Des Weiteren gilt es, die Auswirkungen auf die Rohstofflieferkette aufmerksam zu beobachten. Es könnte sein, dass durch die additive Fertigung zukünftig mehr Unternehmen, die bisher ausschließlich Komponenten bzw. Halbzeuge bezogen haben, zu Rohstoffbeziehern werden. Dies sollte in der langfristigen Strategie zur Sicherung der Rohstoffversorgung der deutschen Industrie berücksichtigt werden. Mit der Rohstoffstrategie der Bundesregierung wurde 2010 ein umfangreicher Instrumentenkasten zur

Flankierung der Industrie geschaffen, der durch den 3D-Druck weiter an Bedeutung gewinnen wird. Da das Interesse der Unternehmen an Bezugsmöglichkeiten für das spezielle Metallpulver steigen dürfte, wird empfohlen, dass die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in ihrem regelmäßigen „DERA-Rohstoffmonitoring“ Informationen zu deren Verfügbarkeit bzw. Markt- und Preisentwicklung aufnimmt.