



HESSEN



TECHNOLOGIELAND
HESSEN

VERNETZT.
ZUKUNFT.
GESTALTEN.

technologieland-hessen.de



Additive Fertigung
Individuelle Serienfertigung

Inhalt



Grußwort	5
1. Der 3D-Druck als individuelle Serienfertigung	6
2. Additive Technologien und Fertigungsverfahren	8
2.1 Grundprinzipien und Verfahren	9
2.1.1 Photopolymerisation	10
2.1.2 Pulverbettverfahren	11
2.1.3 Strangablegeverfahren und Materialextrusion	14
2.1.4 Binder-Drucken	16
2.1.5 Schichtlaminat-Verfahren	17
2.2 Innovationsschwerpunkte bei Druckmaterialien	18
2.2.1 Recyclingdruckmaterial	18
2.2.2 Mineralische Druckmaterialien	19
2.2.3 Hochleistungsmaterialien	19
2.2.4 Multimaterialdruck	20
2.2.5 Formgedächtnismaterialien und formveränderliche Systeme	21
2.2.6 Biobasierte Druckmaterialien	22
2.3 Datenerzeugung und Prozesskette der Additiven Produktion	23
3. Von der Nische in den Massenmarkt - Wertschöpfung mit additiver Fertigung	24
3.1 Markteinschätzung	25
3.2 Neue Märkte durch Additive Produktion	25
3.2.1 Konsumgüter, Hausgeräte, Sportartikel, Mode	26
3.2.2 Fahrzeugbau	27
3.2.3 Elektronik	29
3.2.4 Bio-Printing	31
3.2.5 Ernährung und Eventgastronomie	32
3.2.6 Baubranche	33
3.3 3D-Druckdienstleistende und Content-Plattformen	34
3.3.1 FabLabs und MakerSpaces	34
3.4 Rechtsfragen im Kontext der additiven Fertigung	35
Literatur	38
Impressum	39



Gerade in Hessen haben sich seit dem Aufkommen des 3D-Druckes zahlreiche Innovationstreibende einen Namen gemacht“

Tarek Al-Wazir
Hessischer Minister für Wirtschaft,
Energie, Verkehr und Wohnen

Grußwort

Noch vor wenigen Jahren hatten Additive Fertigungsverfahren ihre größten Stärken bei komplexen Geometrien und im schnellen Prototypenbau. Inzwischen hat die Digitalisierung ihnen ganz neue Potenziale eröffnet. Heute sind Individualisierbarkeit, Flexibilität und Dezentralität die Schlagworte.

Dabei macht das dynamische Wachstum des 3D-Druckmarktes noch lange nicht Halt. Die Möglichkeiten in der zunehmend digital vernetzten Wertschöpfungskette sind enorm. Denn anders als klassische Verfahren bieten Additive Prozesse die Möglichkeit, industrielle Großproduktion zu so auszurichten, dass kein Bauteil dem Vorigen gleichen muss. Immer mehr Materialien lassen sich auf diese Weise immer schneller verarbeiten.

Gerade in Hessen haben sich dabei seit dem Aufkommen des 3D-Druckes zahlreiche Innovationstreibende einen Namen gemacht, und am Frankfurter Messestandort findet mit der formnext seit Jahren die internationale Leitmesse der Branche statt. Spannende Beispiele zur additiven Innovationskraft aus der hessischen Akteurslandschaft finden Sie im Onlineangebot dieser Broschüre.

Wir hoffen, dass Sie bei der Lektüre Denkanstöße für innovative Vorhaben und neue Geschäftsideen finden. Und wir freuen uns, wenn wir Sie bei der Umsetzung Ihrer Ideen begleiten dürfen.

Ihr



Tarek Al-Wazir
Hessischer Minister für
Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen

1.

Der 3D-Druck als individuelle Serienfertigung



Technologischer Wandel findet aktuell im Spannungsfeld zwischen Nachhaltigkeit und Digitalisierung statt. Ob individualisierte Produktion mit maßgeschneiderten Lösungen, ob dezentrale Wertschöpfungsketten mit digitalisierten Angeboten, ob klimaneutrale Mobilität oder eine leistungsfähige medizinische Versorgung: Die Wirtschaft ist einem Wandel unterworfen, der von der Entwicklung disruptiver Technologien begleitet wird.

Eine der Technologien, die die Bestrebungen nach Nachhaltigkeit und Digitalisierung miteinander vereint, ist der 3D-Druck. Mit Wachstumsraten im 2-stelligen Bereich in den letzten zwanzig Jahren hat der Markt rund um die additive Produktion ein Weltmarktvolumen von 10 Mrd. Euro im Jahr mittlerweile deutlich überschritten. Aufgrund des generativen Aufbauprozesses haben additive Fertigungsprinzipien das Potenzial, konventionelle Produktionstechniken wie Fräsen oder Drehen, das Fein- oder Spritzgießen in gewissen Märkten abzulösen und als ideale Querschnittstechnologie die Entwicklung und Industrialisierung nachhaltiger und einzigartig wettbewerbsfähiger Wertschöpfungsketten zu befördern (vgl. Verband 3DDruck 2021).

Insbesondere in Kombination mit der Digitalisierung und Flexibilisierung von industrieller Großproduktion bis hin zur Ausrichtung der Fertigung auf die Losgröße 1 bieten aufbauende Produktionsverfahren Optionen, die bei den klassischen Prozessen nur bedingt zu finden sind. So weisen additive Technologien Qualitäten auf, die sie zur Umsetzung des Zukunftsprojekts „Industrie 4.0“ in der Hightech-Strategie der Bundesregierung auf dem Weg zu einer wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Wirtschaft 4.0 unverzichtbar werden lassen (vgl. BMBF 2020). Als Ressourceneffizienztechnologie bietet die additive Fertigung vor allem Potenziale für einen materialübergreifenden Leichtbau in der Luftfahrt und im Automobilbau, zur Reduzierung der Emissionen im Bauwesen, für individualisierte Lösungen im Medizinbereich oder zur Verkürzung von Entwicklungszyklen im Maschinenbau und der Verfahrenstechnik. Nach erfolgreicher Erprobung neuartiger Geschäftsmodelle unter Einbindung additiver Produktionsverfahren in den letzten Jahren bieten sich aktuell zahlreiche Chancen für die deutsche und europäische Wirtschaft. Der 3D-Druck fördert zudem den Digitalisierungsgrad der Unternehmen (vgl. Verband 3DDruck 2021).

Dass sich nach einer frühen Entwicklungsphase der additiven Produktion mit ihrer Anlagen- und Prozesstechnologie in den letzten Jahren die Marktdurchdringung gut entwickelt hat, lässt sich nicht zuletzt an Zuwächsen bei den Druckmaterialien ablesen. In dem seit 25 Jahren

erscheinenden Wohlers` Report wurde für 2019 eine deutliche Steigerung im Markt der AM-Werkstoffen erfasst. Vor allem der auf eine vermehrte Nutzung additiver Technologien im Kontext industrieller Produktion deutende Umsatz mit metallischen Werkstoffen ist im Jahr 2019 um 41,9 % im Vergleich zum Vorjahr gewachsen (Quelle: Wohlers` Report 2019). Diese Entwicklung geht einher mit einer deutlich gesteigerten Materialauswahl.

Mit fortschreitender Effizienzsteigerung der Anlagentechnik, vor allem bei den Pulverbettssystemen, der additiven Herstellung metallischer Bauteile durch Multi-Lasereinsatz und durch Innovationen beim Filament- und Binderdruck sowie bei Photopolymerisationsverfahren werden additive Fertigungsprozesse immer häufiger für die Großproduktion genutzt. Bei einigen 3D-Druckdienstleistenden liegt der Anteil additiv hergestellter Bauteile für in Masse produzierte Produkte bereits bei 20 - 25 % (Quelle: Jabil 2021). Im Jahr 2020 erwirtschafteten 3D-Druckdienstleistungen einen Gesamtumsatz in Höhe von 5 Milliarden US-Dollar weltweit (Quelle: Wohlers' Report 2020).

Durch Entwicklungen zur Förderung der Integration additiver Fertigungsprozesse in die konventionellen Produktionslinien befördern die Anlagenbauenden diesen Trend. Zudem steht die Schaffung eines vernetzten, automatisierten Betriebssystems im Fokus, das Auftragsabwicklung und Produktionsplanung für die additive Produktion beinhaltet und auch Möglichkeiten zur Designoptimierung bis hin zur Automatisierung der Nachbearbeitung beinhaltet. Ging man vor einigen Jahren noch davon aus, dass sich die additive Fertigung nur als Ergänzung zu bisherigen Produktionsprozessen etablieren würde, befindet sie sich aktuell in immer mehr Branchen auf dem Weg in die Massenproduktion.

Sie merken: Die Additive Fertigung ist vielfältig, vielschichtig und entwickelt sich dynamisch weiter. Um dieser Entwicklung gerecht werden zu können, haben wir uns entschlossen, einige Inhalte nur virtuell auf unserer Webseite zu präsentieren. Über untenstehenden QR-Code gelangen Sie zu der vollständigen Onlinebroschüre mit zahlreichen innovativen Beispielen rund um den 3D-Druck.



2.

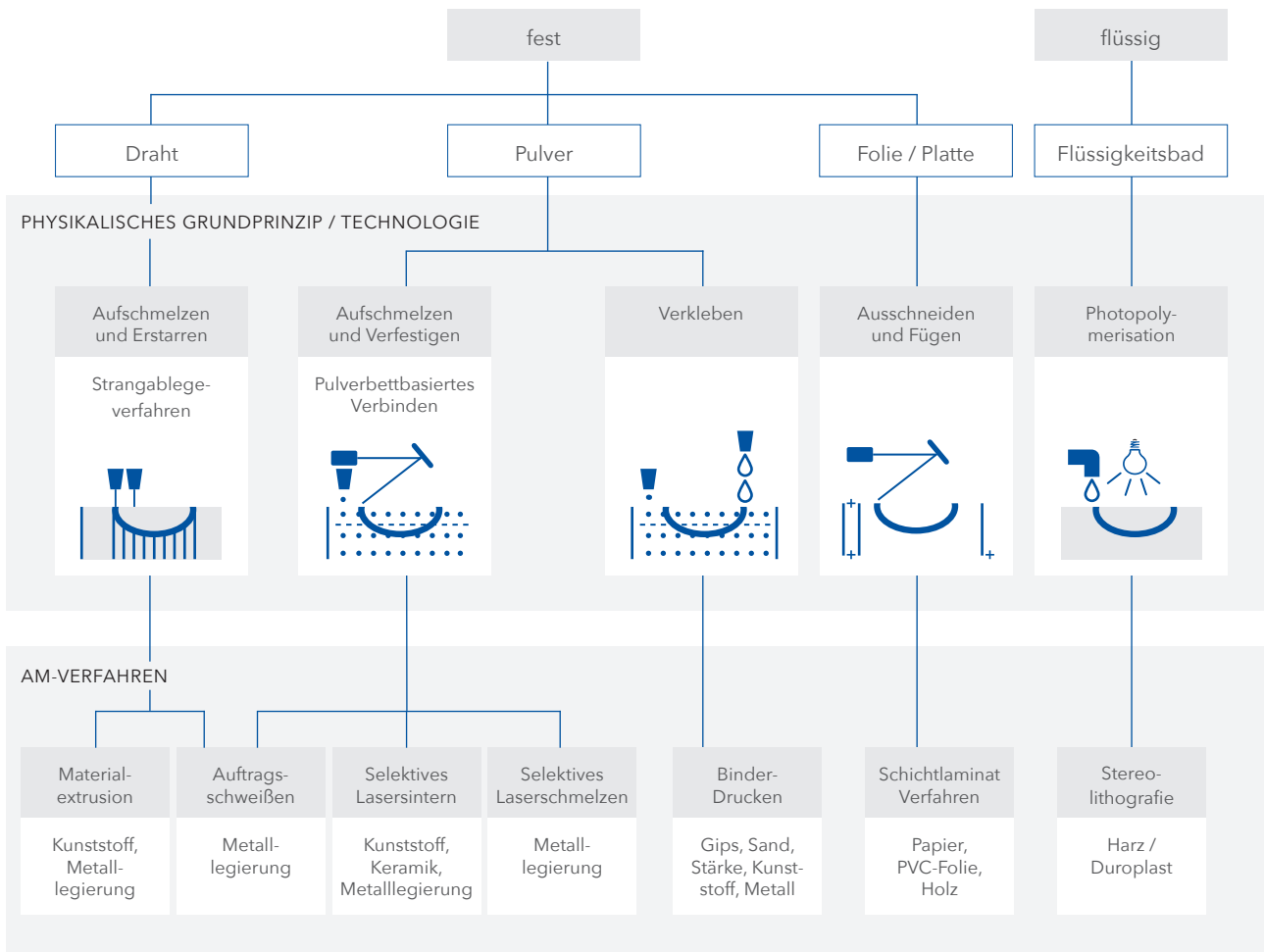
Additive Technologien und Fertigungsverfahren



Die heute bekannten additiven Herstellungsverfahren und Anlagentypen lassen sich hinsichtlich der genutzten Materialien in fünf Fertigungsprinzipien unterteilen, die sich bezüglich der genutzten Halbzeuge weiter in verschiedene Verfahren gliedern. Gemeinsam ist allen Verfahren der schichtweise Aufbau der Bauteile, daher spricht man

bei den 3D-Druckverfahren auch häufig von generativen oder additiven Fertigungstechniken. Die Vielzahl der heute genutzten Anlagen kann in die Verfahrensgruppen Photopolymerisation, Pulverbettverfahren, Binder-Druck, Strangablege- beziehungsweise Schichtlaminatverfahren eingeteilt werden.

Klassifizierung häufigster additiver Fertigungsverfahren



Einteilung in Anlehnung an Professor Dr.-Ing. R. Anderl, Technische Universität Darmstadt, September 2017

2.1 Grundprinzipien und Verfahren

Die Wahl für eine additive Technologie erfolgt in aller Regel hinsichtlich der verwendbaren Werkstoffe, der realisierbaren Genauigkeit, der möglichen mechanischen Qualität, des maximalen Anlagenbauraums sowie des Kostenrahmens. Durch die hohe Entwicklungsdynamik sind die Verfahren ständiger Veränderung unterworfen. An den grundlegenden Prinzipien hat sich jedoch in den

letzten Jahren wenig geändert, auch wenn zum Beispiel im Bauwesen, beim 3D-Druck von Lebensmitteln oder in der Medizintechnik sehr viele neue Druckmaterialien dazu gekommen sind.

Hier geht es zur Onlinebroschüre

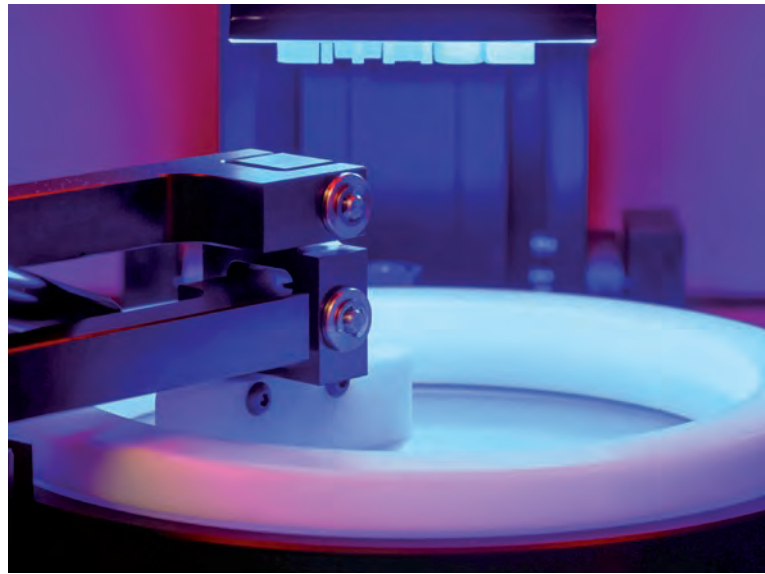


2.1.1 Photopolymerisation (Stereolithographie)

Die Photopolymerisation gilt als ältestes additives Verfahrensprinzip und wurde Anfang der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts an der University of Texas at Austin von Chuck Hall entwickelt.

Bei der Photopolymerisation werden die Bauteile durch lokales Aushärten eines lichtempfindlichen Photopolymers mit Hilfe eines Laserstrahls erzeugt. Dazu wird zunächst ein Kunstharz in ein Harzbad eingelassen. Durch zeilen- oder schichtweises Belichten des Harzes mit dem Laser härtet dieses lokal aus und es entsteht die erste Schicht des gewünschten Bauteils. Um die nächste Schicht auszuhärten, wird die Bauteilplattform jeweils um eine Schichtdicke abgesenkt. Das Harz fließt von der Seite auf die Plattform und wird mit einer Wischvorrichtung gleichmäßig auf der bereits gehärteten Struktur verteilt, bevor der Laser die nächste Schicht belichtet. Der Prozess wiederholt sich so lange, bis das Formteil vollständig aufgebaut wurde.

Um ein Absinken oder Verformen von überhängenden oder filigranen Schichten im Harzbad zu verhindern und die Geometrien zu stabilisieren, werden dünne Stützstrukturen gedruckt, die nach der Entnahme von der Bauteilplattform entfernt werden müssen. Zur vollständigen Aushärtung des Materials werden die Bauteile abschließend unter Einfluss von UV-Licht gelagert.



Im LCM-Verfahren hergestellte Hochleistungskeramiken (oben)
Belichtungsprozess beim 3D-Druck von Hochleistungskeramiken im LCM-Verfahren (unten) (Quelle: Lithoz)



Oberflächenbehandlung eines Stereolithografiebauteils
(Quelle: Materialise)

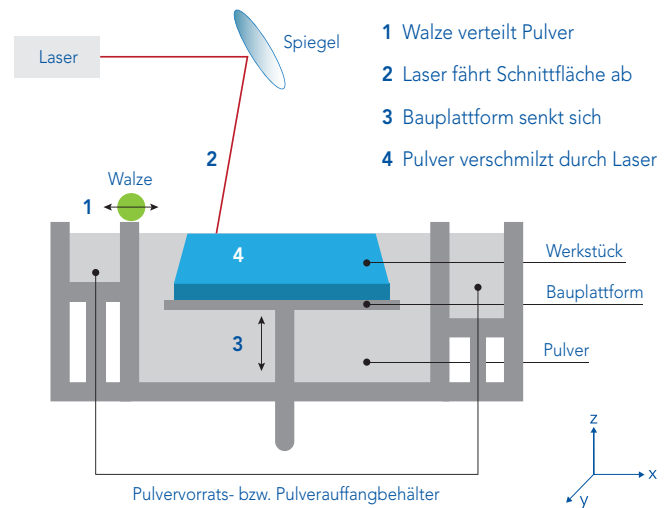


Futurecraft 4D - Additiv im CLIP-Verfahren gefertigte Sohle für einen Sportschuh (Quelle: Adidas)

2.1.2 Pulverbettverfahren

Mit erzielbaren Qualitäten nahe der von Serienwerkstoffen, zählen Selektives Lasersintern beziehungsweise -schmelzen (SLS beziehungsweise SLM) zu den wichtigsten Pulverbettverfahren für industrielle Anwendungen. Lange wurden diese Verfahren vor allem für den Prototypen- und Werkzeugbau eingesetzt, inzwischen zählen sie zu den bedeutendsten additiven Produktionsverfahren für die direkte Herstellung von Produktbau- und Ersatzteilen.

Selektives Lasersintern und selektives Laserschmelzen basieren auf dem gleichen Prinzip: Ein Pulver dient als Ausgangsstoff (Pulverbettverfahren), dessen einzelne Partikel durch einen Laser lokal erwärmt und so gefügt werden. Mit einer walzenförmigen Beschichtungseinheit wird eine dünne Pulverschicht gleichmäßig auf dem Druckbett verteilt und geglättet. Durch schicht- oder zeilenweises Belichten der entsprechenden Bereiche wird das Pulvermaterial dort thermisch verfestigt zu einer Formteilschicht. Ist die Belichtung einer Bauteilschicht abgeschlossen, fährt das Druckbett um eine Schichtdicke nach unten, es wird erneut Materialpulver aufgetragen (Materialstärke zwischen 10 bis 200 Mikrometern) und der Sinterprozess für die nächste Schichtstruktur wiederholt sich.



Belichtungsprozess beim Laserstrahlschmelzen (Quelle: Protiq)



3D gedruckter Greifer (Quelle: Materialise)

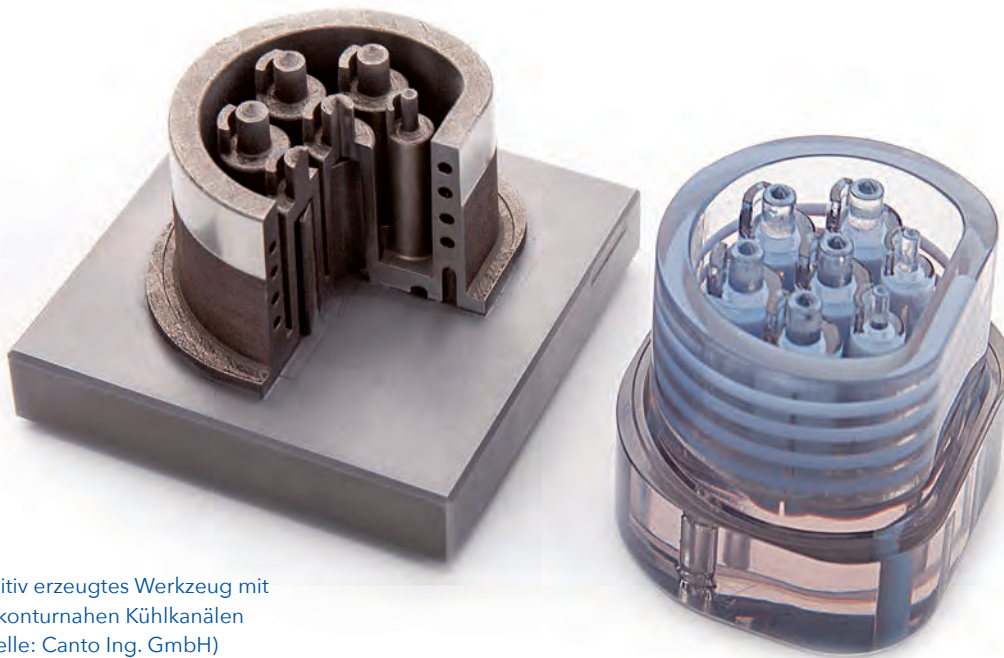
Unterschieden werden die beiden Verfahren in der durch den Laser eingebrachten Energie und somit dem Fügeprozess der Partikel sowie den einsetzbaren Materialien. So wird beim Lasersintern (SLS) das Pulver lokal angeschmolzen und die einzelnen Pulverpartikel miteinander verbunden. Beim Laserschmelzen (SLM) wird das Pulver hingegen lokal geschmolzen. Während mit SLS hergestellte Bauteile also aus fest miteinander verbundenen Partikeln besteht, sind im SLM hergestellte Bauteile ein vollständig verschmolzener Materialverbund.

Da der verfestigte Materialverbund von losem Pulver umgeben ist, wird für die Realisierung von Überhängen keine Stützstruktur benötigt. Allerdings sind zusätzliche Strukturen nötig, um das Bauteil beim Arbeiten mit hochenergetischen Lasern in Position zu halten und den Abwärmehtransport zu verbessern. Zur Reduzierung der Prozesszeit wird der gesamte Druckraum bei den meisten Anlagen auf einen Temperaturbereich unterhalb der Schmelztemperatur des zur Anwendung kommenden Materialpulvers erhitzt. Vor der Entnahme des fertigen Bauteils aus dem Pulverbett muss der gesamte Druckraum über mehrere Stunden gleichmäßig abgekühlt sein. Nicht genutztes Pulver kann theoretisch erneut verwendet werden.

SLM kommt in der Regel nur bei Metallen zum Einsatz, während SLS prinzipiell bei allen sinterbaren Pulvern eingesetzt werden kann.



Weltweit größtes additiv hergestelltes Zahnrad aus amorphem Metall (Quelle: Heraeus)



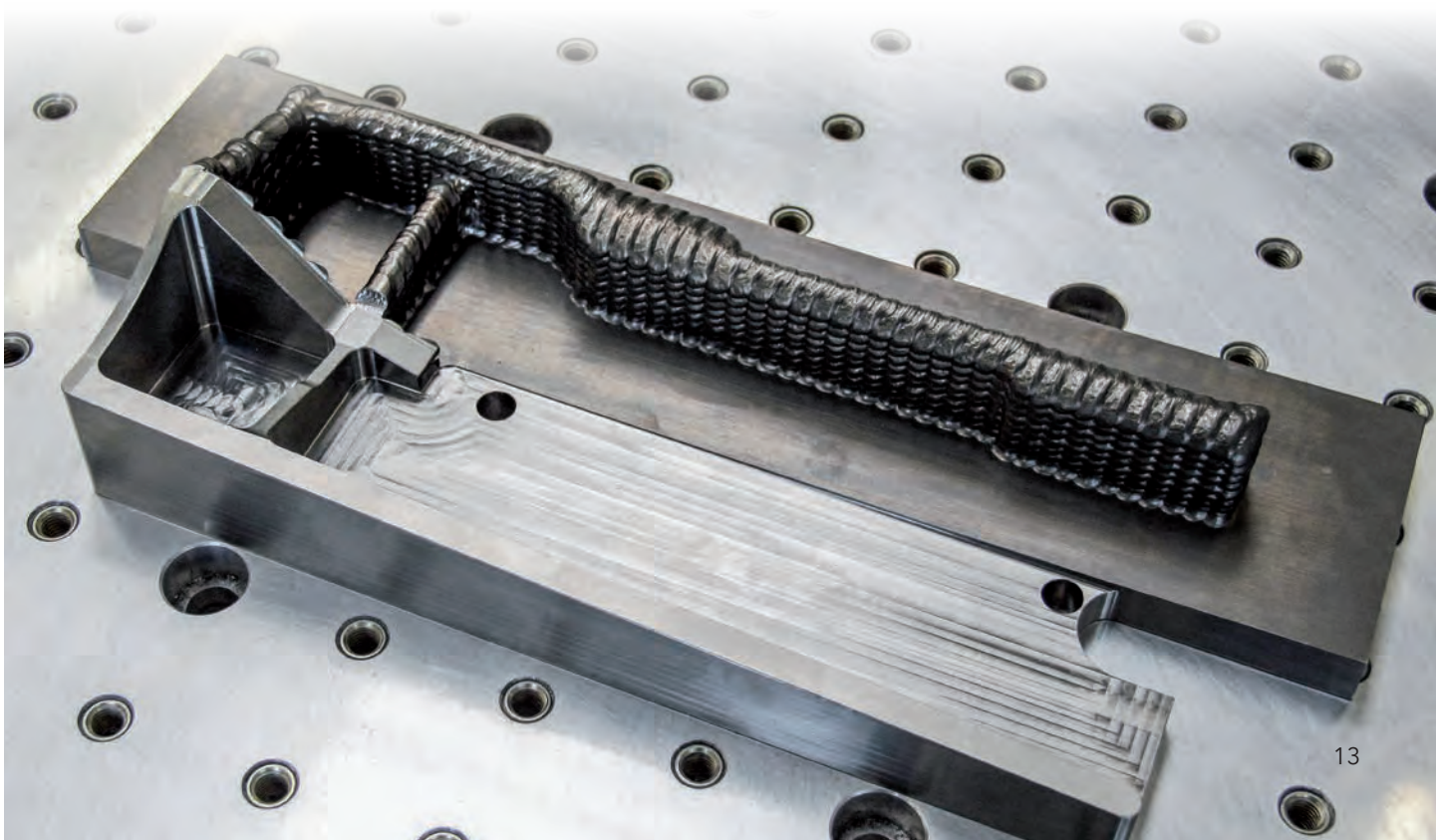
Additiv erzeugtes Werkzeug mit endkonturnahen Kühlkanälen
(Quelle: Canto Ing. GmbH)

Durch den Einsatz mehrerer Laser in einer Anlage wird für die nächsten Jahre eine 100 bis 1.000-fache Steigerung der Produktivität erwartet. Dazu hat SLM Solutions Ende 2020 eine neue Anlagen-Generation mit zwölf gleichzeitig arbeitenden Lasern und einer Leistung von jeweils bis zu 1 kW vorgestellt. Die neuen Märkte ziehen auch traditionelle PC-Druckerherstellende an. So ist Hewlett Packard im Jahr 2016 mit dem selbst entwickelten Multi-Jet Fusion Verfahren in den 3D-Produktdruck eingestiegen. Seit 2016 sind auch Desktop SLS-Anlagen für einen Einstiegspreis von unter 10.000 Euro am Markt erhältlich.



Additiv erzeugter Lenkwellenhalter mit 50% Gewichtspersparnis
(Quelle: Heraeus)

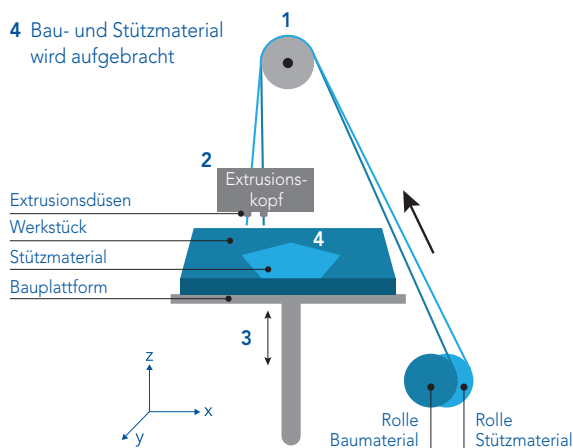
Mittels Laser-Draht-Auftragsschweißen erzeugtes Titanbauteil
(Quelle: Gefertec)



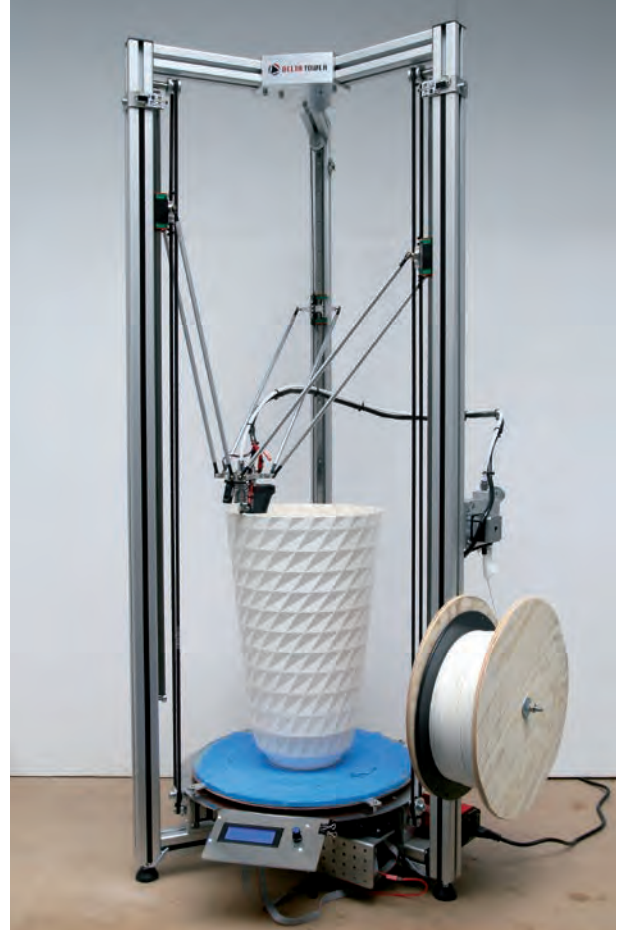
2.1.3 Strangablegeverfahren und Materialextrusion

Durch das Auslaufen einiger wesentlicher Schutzrechte im Jahr 2009 kam es bei den sogenannten Strangablegeverfahren zu einem Entwicklungsschub. Mittlerweile zählen Anlagen dieses Verfahrensprinzips zu den bedeutendsten Verfahren – insbesondere in Kreativberufen oder im privaten Sektor. Gründe dafür sind der vergleichsweise wenig komplexe Aufbau der Anlagen, das einfache Handling und die große Bandbreite der zur Verfügung stehenden Materialien. Auch die recht guten mechanischen Qualitäten der Bauteile machen die Verfahren für viele zum Einstieg der Wahl. Da die Anlagen in der Regel mit einem aufschmelzbaren Filament arbeiten, haben sich die Begriffe Fused Filament Fabrication (FFF) und Fused Layer Modeling (FLM) durchgesetzt. Die oftmals verwendete Bezeichnung Fused Deposition Modeling (FDM) ist eine vom amerikanischen Unternehmen Stratasys Ltd. geschützte Marke. Neben den Filamentdruckern haben sich auch solche unter Verwendung von Granulat unter dem Namen Fused Granular Fabrication (FGF) am Markt etabliert. Mit diesen ist der 3D-Druck großer Bauteile mit hoher Geschwindigkeit möglich.

- 1 Stütz- und Baumaterial wird in Druckkopf eingezogen
- 2 Extrusionskopf erwärmt Stütz- und Baumaterial
- 3 Bauplattform senkt sich
- 4 Bau- und Stützmaterial wird aufgebracht



Verfahrensprinzip der Strangablegeverfahren



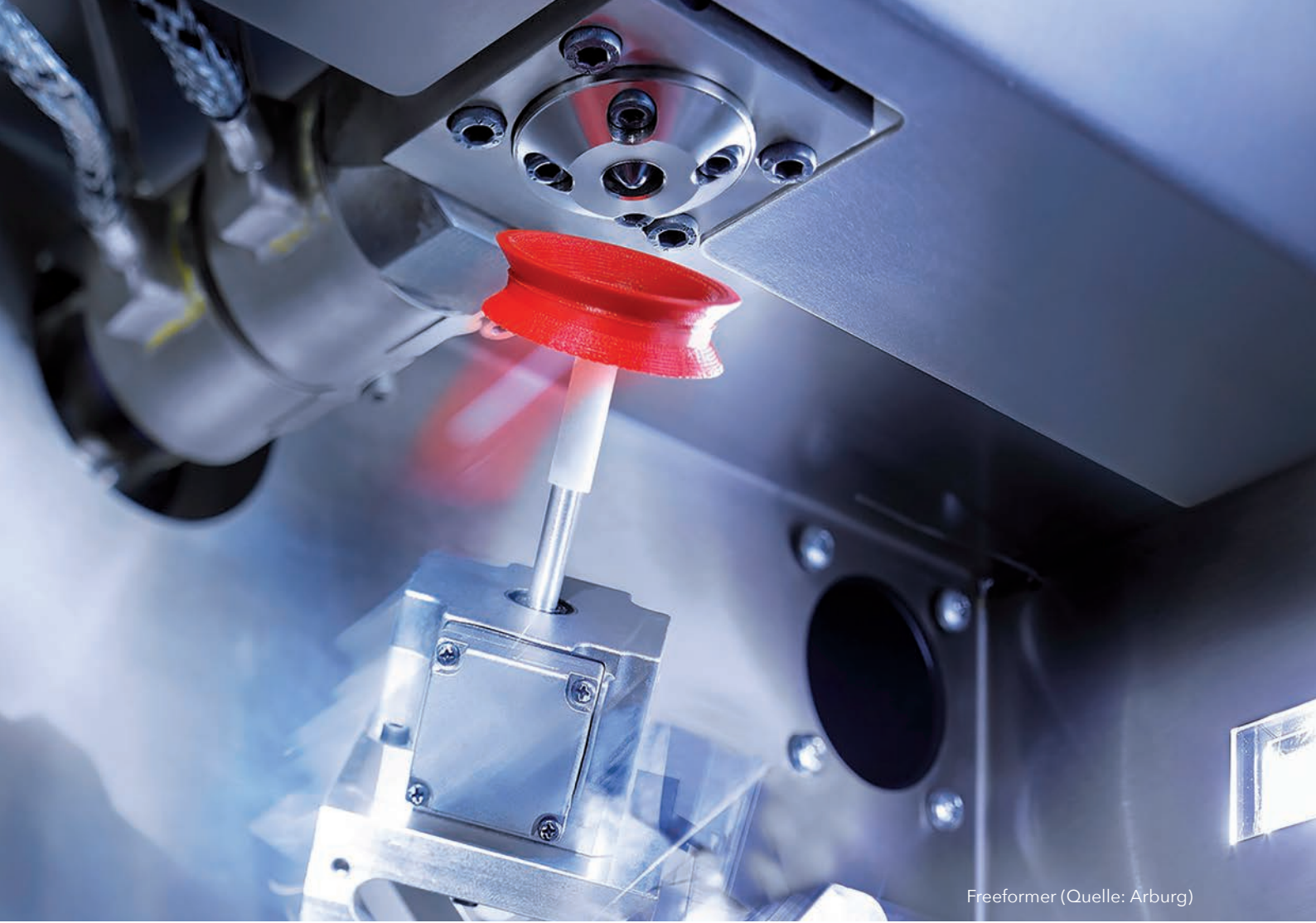
Strangablegeverfahren im Betrieb (Quelle: Thorsten Franck)

Die Strangablegeverfahren arbeiten mit einem unter Wärmeeinfluss erweichbaren Material. Es wird – vergleichbar mit einer Heißklebepistole – durch eine erhitzte Düse gepresst und entweder linien- (zum Beispiel FLM) oder tröpfchenförmig aufgebracht. Ein Steuermechanismus regelt die schichtweise Verteilung des Materials auf der Bauteilplattform oder der bereits entstandenen Struktur, wo der Werkstoff dann unmittelbar abkühlt und erstarrt. Das Bauteil entsteht sukzessive durch das Verschmelzen der jeweiligen Schichten. Das Druckbett wird nach jeder Schicht abgesenkt, die Schichtdicke durch Glättung mit der Düse bestimmt.

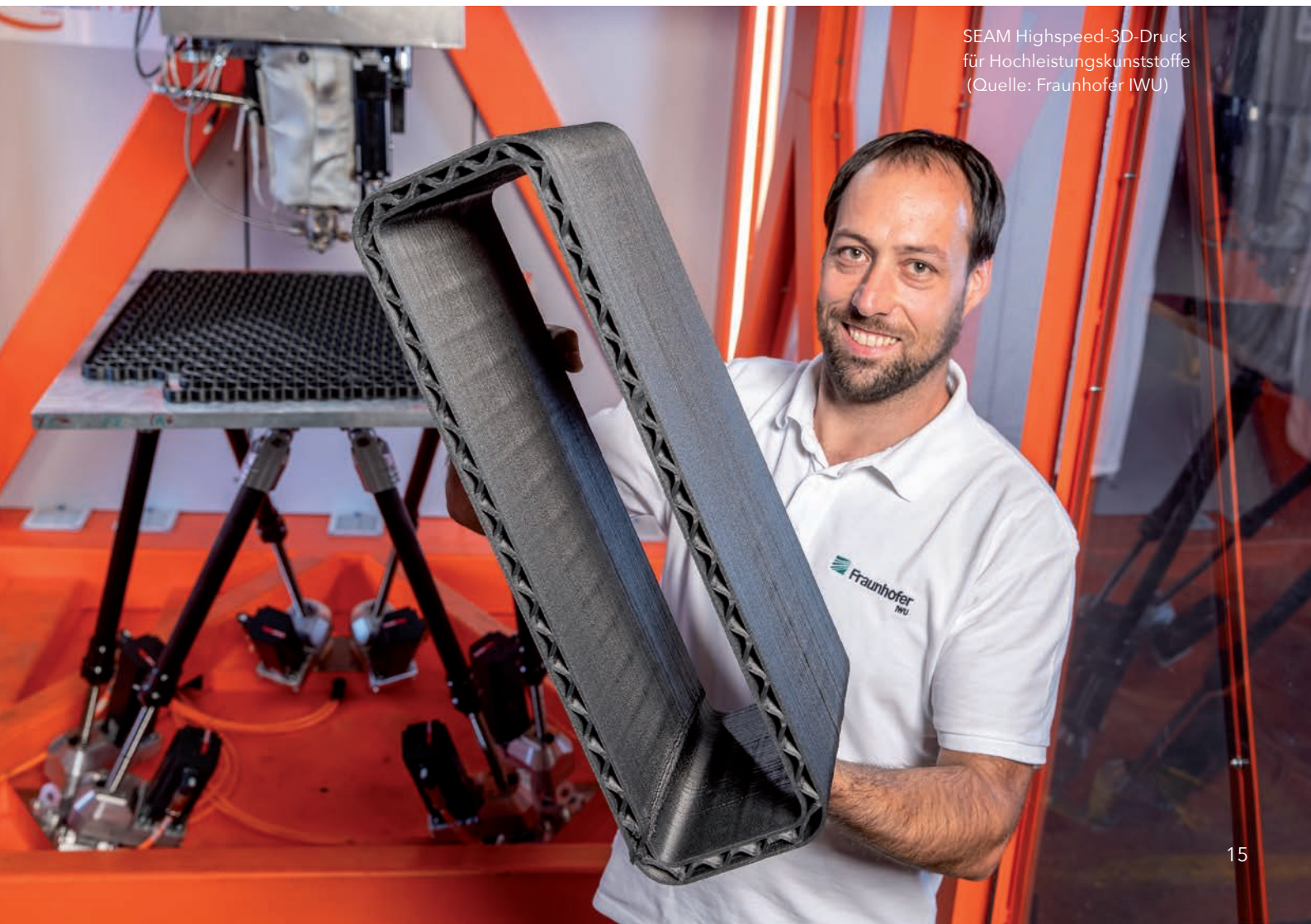
Hinterschnitte und Hohlräume können bei diesem Verfahrensprinzip allerdings nur bedingt realisiert werden, daher sind für die Umsetzung steil ausragender Bauteilgeometrien Stützstrukturen erforderlich.



Rolle mit Metallfilament (Quelle: BASF)



Freeformer (Quelle: Arburg)

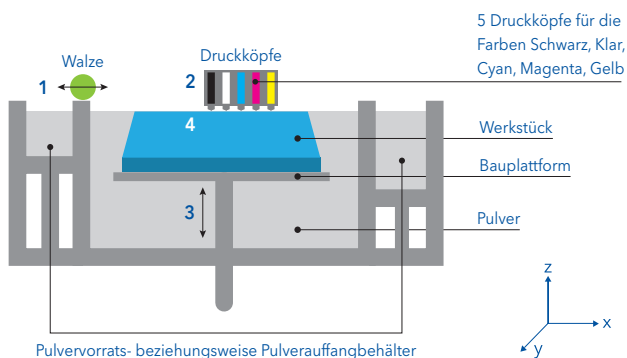


SEAM Highspeed-3D-Druck
für Hochleistungskunststoffe
(Quelle: Fraunhofer IWU)

2.1.4 Binder-Drucken

Das Binder-Drucken (auch Binder-Jetting genannt) wurde Anfang der 1990er Jahre von Emanuel Sachs und Michael Cima am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in den USA mit dem Ziel entwickelt, eine Technologie für den Einsatz in Büroumgebungen bereitzustellen. Wegen der Möglichkeit zum Einfärben der gedruckten Bauteile hat der Binder-Druck in den letzten Jahren eine Vielzahl von Einsatzzwecken für private Anwendungen gefunden, zum Beispiel für die Herstellung menschlicher Abbilder. Mit neuen Großanlagen hat das Verfahrensprinzip auch im industriellen Bereich sowohl zur additiven Herstellung von Kunststoff- als auch von Metallteilen an Bedeutung gewonnen.

- 1 Walze verteilt Pulver
- 2 Binderauftrag erfolgt durch Druckköpfe
- 3 Bauplattform senkt sich
- 4 Pulver verklebt durch Binder



Verfahrensprinzip des 3D-Druckens mit einem Bindemittel

Das Verfahrensprinzip ähnelt dem der Pulverbettverfahren und basiert auf dem Verkleben von Partikeln. Diese werden allerdings nicht, wie zum Beispiel bei SLM- oder SLS-Verfahren mit einem Laser thermisch verbunden, sondern unter Einsatz eines Bindemittels miteinander verklebt. Hier kommt ein Druckkopf zum Einsatz, der schichtweise über das Pulverbett fährt und die Klebstoffsubstanz tröpfchenweise in das Pulver einbringt. Das Bindemittel dringt bis zur darunterliegenden Lage vor und verbindet die neue Pulverschicht mit der bereits gedruckten Schicht. Vor dem Start der nächsten Schichterstellung wird das Druckbett um eine Schichtstärke abgesenkt und der Prozess beginnt von Neuem. Da das Bauteil bei der Herstellung vollständig von Pulver umgeben ist, werden zur Realisierung von Überhängen keine Stützkonstruktionen benötigt.

Da das Binder-Drucken ähnlich wie konventioneller 2D-Druck abläuft, hat sich die Technologie schnell bewährt. Im Vergleich zu anderen additiven Produktionsverfahren können zudem sehr hohe Fertigungsgeschwindigkeiten erzielt werden. Außerdem ist das Einfärben von Bauteilen in über 16 Millionen Farben möglich. Im Bauraum befindliches, nicht verwendetes Pulver kann theoretisch erneut genutzt werden.

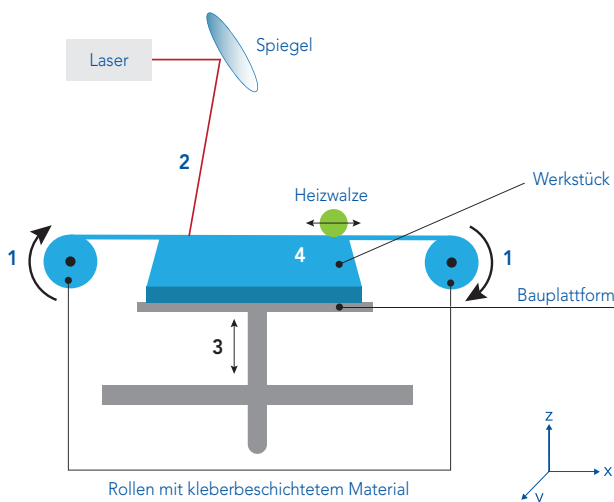
ColorJet-Druck - 3D-Druck-Anlage (Quelle: Materialise)



2.1.5 Schichtlaminat-Verfahren

Zu den Schichtlaminat-Verfahren (Layer Laminate Manufacturing - LLM) zählen alle Anlagentypen, die auf der Verwendung einzelner Folien oder Papierlagen basieren. Sie haben sich in den letzten Jahren nicht so positiv entwickelt wie die anderen Anlagentypen, da die Realisierung von Hohlräumen schwierig ist und die Entfernung von überschüssigem Material händisch erfolgen muss.

- 1 Endlosband mit klebebeschichtetem Material
- 2 Laser fährt Schnittfläche ab
- 3 Bauplattform senkt sich
- 4 Material wird durch Heizwalze verklebt



Verfahrensprinzip beim Layer Laminate Manufacturing

Bei den LLM-Anlagen entstehen Bauteile durch schichtweises Verkleben einzelner Folien oder dünner Platten. Zunächst wird die erste Lage auf die Bauteilplattform aufgelegt und die Kontur der Schicht mit einem Laser, einer scharfen Messerschneide oder einem Heißdraht eingebracht. Die Plattform verfährt nach unten und eine neue Materialfolie wird aufgelegt und mit einer Thermowalze bei etwa 300 Grad Celsius mit der unterliegenden Schicht verklebt. Der nächste Zuschnitt der Kontur entsteht und der Prozess wiederholt sich von Neuem.

Zur Integration von Funktionselementen oder zur Entfernung überschüssigen Materials in Hohlräumen kann der Prozess angehalten werden. Schicht-Laminat-Verfahren sind zwar additive Prozesse, weisen aber verglichen mit anderen AM-Prozessen weniger Vorteile im Hinblick auf eine mögliche Ressourceneinsparung auf.



Bauraum einer MCor-Anlage nach dem Schichtlaminat-Verfahren (Quelle: 3D-Picture, Foto: Dieter Bielert)

2.2 Innovationsschwerpunkte bei Druckmaterialien

Die zunehmende Verbreitung additiver Technologien in den unterschiedlichen Bereichen hat zur Folge, dass neben der Vielfalt an Anlagen vor allem auch der Bedarf an spezialisierten Werkstoffen zugenommen hat. Während das Angebot an polymeren und metallischen Druckmaterialien in den letzten Jahren deutlich angewachsen ist, lassen sich auch in anderen Materialbereichen Innovationssprünge beobachten. Neben Multimateriallösungen

mit integrierten Funktionalitäten und formveränderlichen Möglichkeiten, gab es eine Vielzahl von Entwicklungen beispielsweise bei biobasierten Druckmaterialien oder für die additive Verarbeitung von Glas, Beton sowie Keramiken. In den letzten Jahren wurden besonders Maßnahmen zur Förderung der Kreislauffähigkeit der eingesetzten Druckmaterialien und das Recycling 3D gedruckter Bauteile diskutiert.

2.2.1 Recyclingdruckmaterial

Mit der Kreislauffähigkeit setzte die formnext der Messe Frankfurt im Jahr 2020 einen thematischen Schwerpunkt auf die Nachhaltigkeit der additiven Produktion. Wurde der 3D-Druck aufgrund der Möglichkeit zur lokalen und vor allem bedarfsgerechten Herstellung bei geringen Abfallmengen bereits seit langem als Produktionstechnologie mit geringem Ressourceneinsatz bewertet, stehen heute insbesondere die Kreislauffähigkeit additiv erzeugter Produkte, die eingesetzten Druckmaterialien sowie der Energieeinsatz im Fokus der Entwicklungen. Dabei sind die Steigerung des Einsatzes rezyklierter Kunststoffe ebenso auf der Agenda von Unternehmen wie ein vermehrter Einsatz von Biomasse in den Materialien sowie die Möglichkeit zur Einlagerung von Kohlendioxid.

Bereits seit einigen Jahren wird vor allem in Design und Architektur mit dem 3D-Druck von Objekten und Möbeln aus recycelten Kunststoffen versucht, auf die Nachhaltigkeitsthematik aufmerksam zu machen. Mit der Additive Manufacturer Green Trade Association (AMGTA) wurde im November 2019 ein globaler Branchenverband gegründet, um Nachhaltigkeitsthemen in der additiven Produktion zu fördern.

Hier geht es zur
Onlinebroschüre



6! stool - 3D-gedrucktes Möbel aus WEARPURE.TECH-Druckfilament (Quelle: Noumena, Design: Darragh Casey)

2.2.2 Mineralische Druckmaterialien

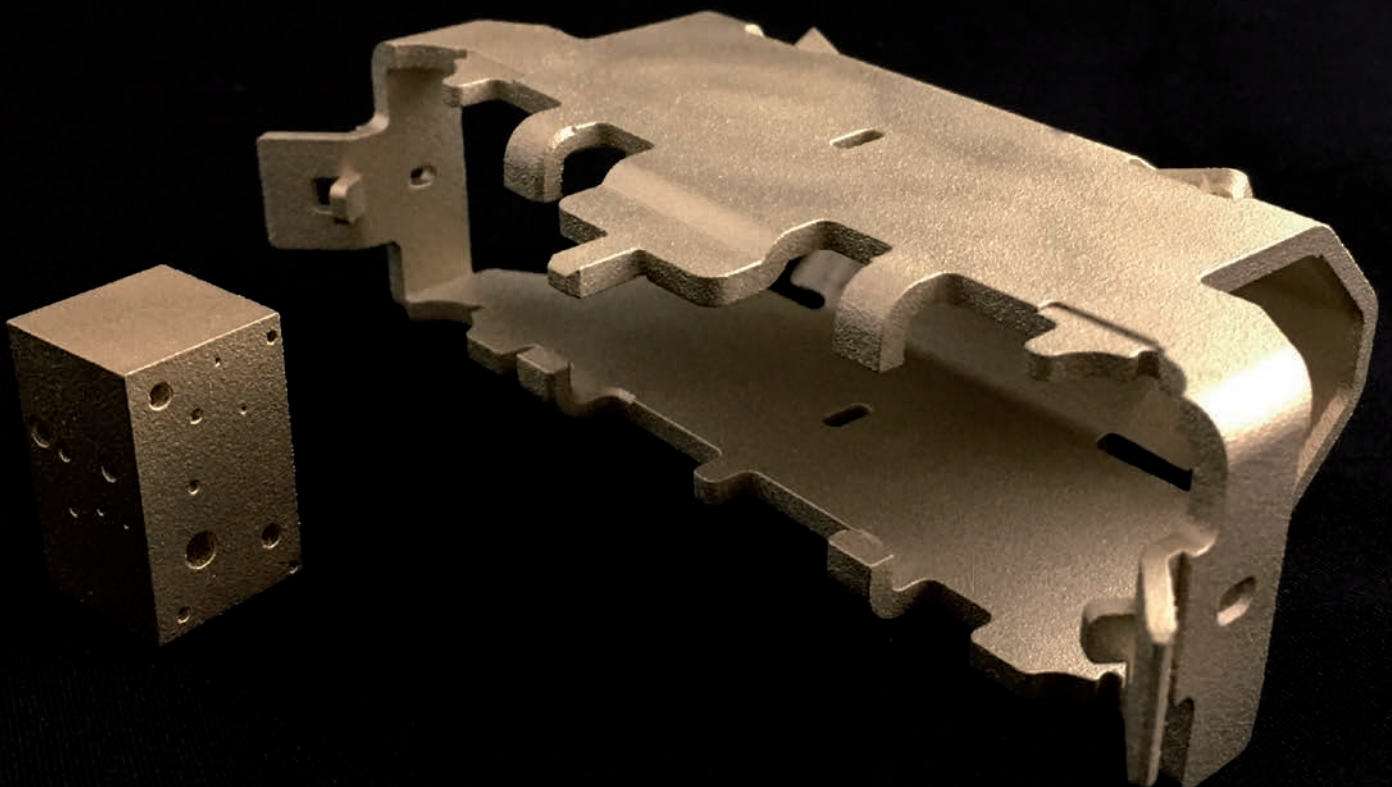
Mit dem Sanddruck ist für die additive Herstellung von Gießkernen und die Verarbeitung von keramischen Materialien im Pulverbett der 3D-Druck von mineralischen Materialien bereits seit langem in der Anwendung. Die additive Verarbeitung von Glas hingegen wurde erst in den letzten Jahren entwickelt. Der Einzug der 3D-Gebäudedrucker in das Bauwesen schließlich ist für die Materialinnovationen in diesem Segment ein enormer Innovationstreiber und auch die Nachhaltigkeit gewinnt hier immer mehr an Bedeutung.

2.2.3 Hochleistungsmaterialien

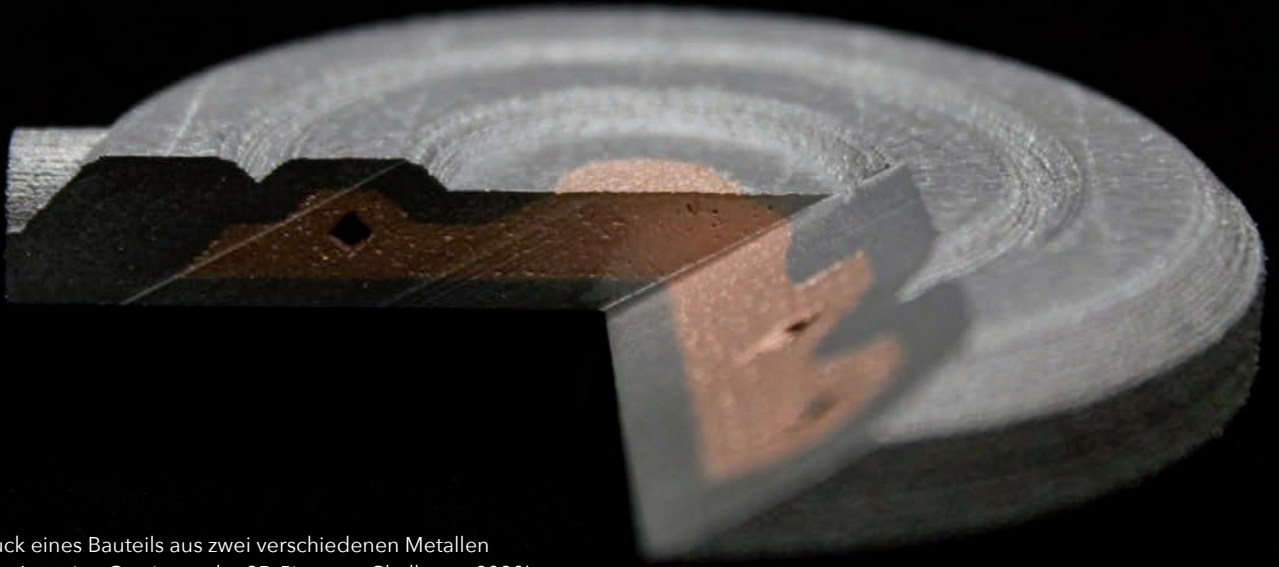
In vielen Anwendungsfeldern stießen die zuvor additiv verarbeiteten Werkstoffe an ihre Grenzen. Steigende Ansprüche an die Materialien haben jedoch zu zahlreichen Innovationen geführt. So sind nun beispielsweise im Polymerdruck Hochleistungsmaterialien erhältlich, die hochfeste Bauteile ermöglichen. Inzwischen können auch Endlosfaserverstärkungen in den additiven Fertigungsprozess integriert werden und der Silikondruck ist im Markt angekommen. Auch im Bereich metallischer Materialien gibt es zahlreiche Entwicklungen.



Sanddruck mit Chitosan und Zellulose als Bindemittel
(Quelle: Filipe Natalio)



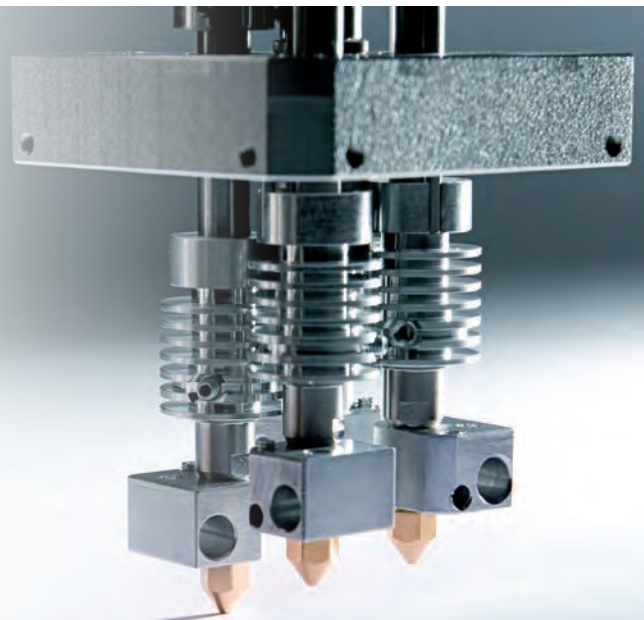
Additiv erzeugtes Bauteil aus Messing (Quelle: Protiq)



3D-Druck eines Bauteils aus zwei verschiedenen Metallen
(Quelle: Aerosint, Gewinner der 3D Pioneers Challenge 2020)

2.2.4 Multimaterialdruck

Nachdem lange Jahre nur ein Werkstoff mit einem 3D-Drucker verarbeitet werden konnte und die Anzahl der auf dem Markt erhältlichen Materialien begrenzt war, erweiterten die Herstellenden ihre Produktpalette inzwischen deutlich. Multimaterialdrucker stehen kurz vor dem Sprung von der Forschung in den Markt und verbessern die industriellen Potenziale additiver Fertigungsprozesse deutlich. Durch Verarbeitung unterschiedlicher Werkstoffe in einer Anlage können Kombinationen aus Metallen, Keramiken und Kunststoffen erzeugt werden, die über zusätzliche Funktionen wie elektrische und magnetische Qualitäten verfügen. Somit können additiv erzeugte Hybridbauteile für den Leichtbau ebenso realisiert werden wie Präzisionsbauteile aus Keramiken mit besonderen Materialqualitäten an einzelnen Stellen in einer einzigen Schicht. Vor allem für mechatronische Systeme sind integrierte Funktionsbauteile wie Aktoren und Sensoren von großer Bedeutung.

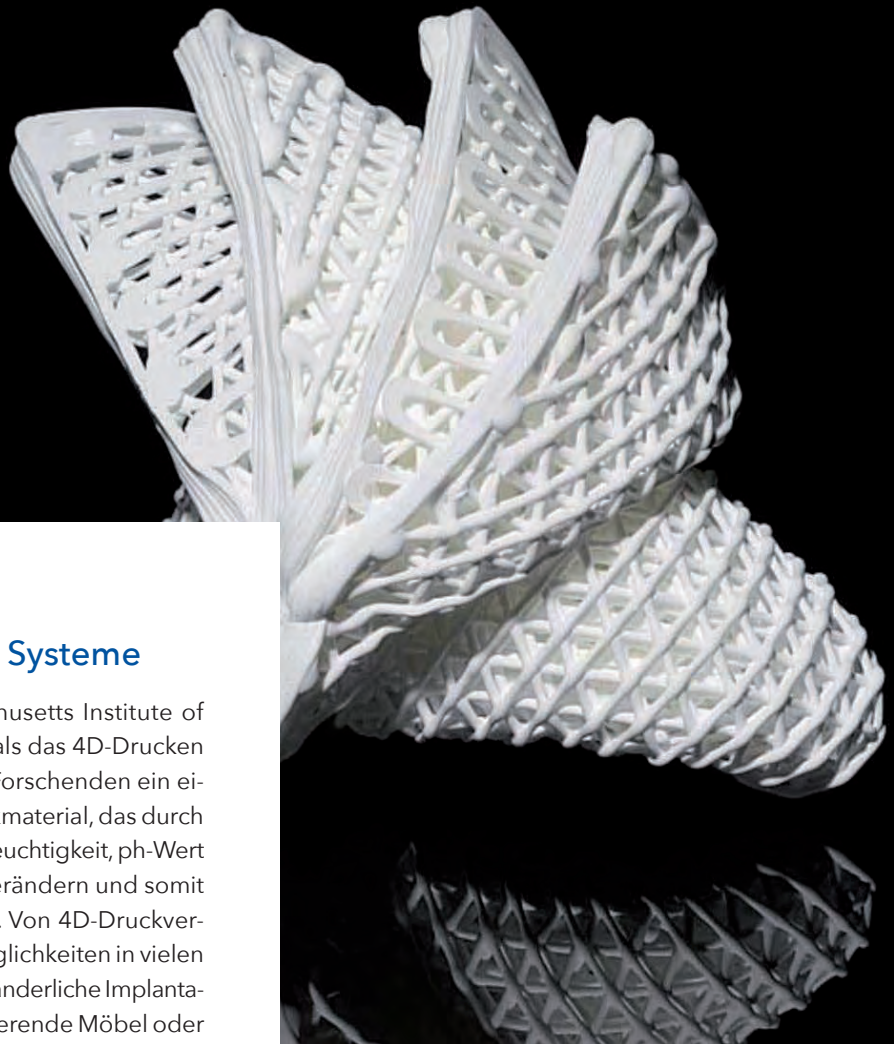


4Move Druckkopf mit 4 Düsen für den Multimaterialdruck (Quelle: Multec)



CeraFab Multi 2M30 - Anlage für den lithographiebasierten Multimaterialdruck (Quelle: Lithoz)

4D gedruckte Origami-Keramik
ahmt die Oper von Sydney nach
(Quelle: City University of Hong Kong)



2.2.5 4D-Drucken und formveränderliche Systeme

Am Self Assembly Lab des Massachusetts Institute of Technology (MIT) wurde 2013 erstmals das 4D-Drucken vorgestellt. Dabei verwendeten die Forschenden ein eigenes von Stratasys entwickeltes Druckmaterial, das durch Veränderung von Temperatur, Licht, Feuchtigkeit, pH-Wert oder Magnetfeld seine Geometrie verändern und somit zusätzliche Funktionen erfüllen kann. Von 4D-Druckverfahren verspricht man sich Einsatzmöglichkeiten in vielen Gebieten. Beispielsweise sich formveränderliche Implantate in der Medizintechnik, selbst montierende Möbel oder selbsttätig öffnende Fassaden. Für die Luftfahrt und die Automobilindustrie wurden formveränderliche Bauteile an Flügeln oder Karosserieelementen bereits in Studien untersucht. Auch im Sportbereich können zahlreiche Potenziale ausgemacht werden. 4D-Drucken befindet sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium.



4D-Printing mit hydrophilem Acrylatmonomer
(Quelle: MIT, USA)

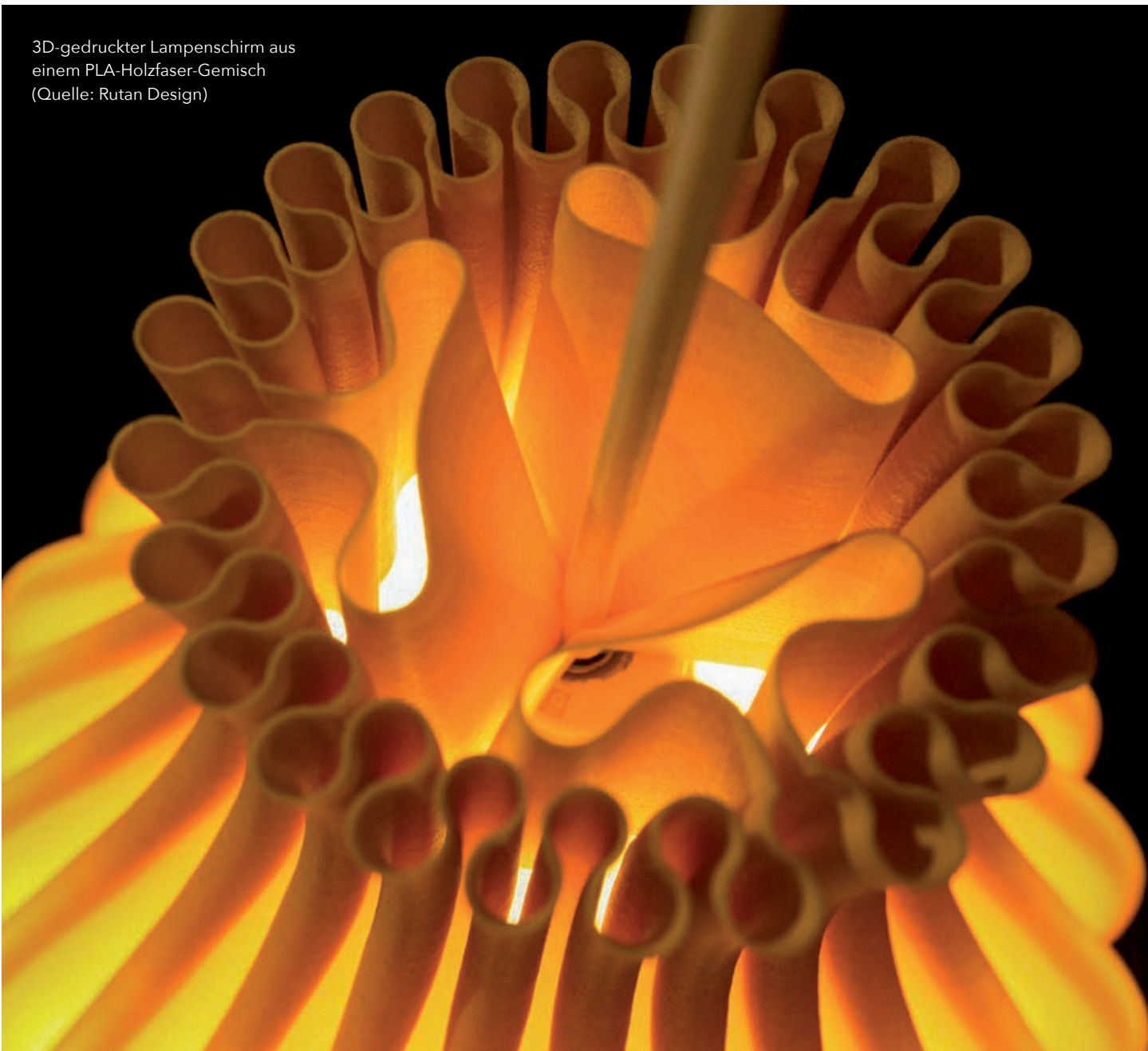


2.2.6 Biobasierte Druckmaterialien

Das zunehmende Interesse der Industrie an natürlichen Materialien und biobasierten Rohstoffen spiegelt sich auch in der additiven Fertigung – sowohl beim Druckmaterial als auch bei einbringbaren Fasern bzw. Partikeln. So hat sich der Biokunststoff Polylactid (PLA) in den letzten Jahren als ein Standardmaterial beim Filamentdruck etabliert und auch Zellulose und Algen konnten in den letzten Jahren als Druckmaterialien qualifiziert werden. Weitere Entwicklungen fokussieren hingegen auf die Verwendung natürlicher Fasermaterialien wie Holz und Hanf oder hochfeste Partikel aus Nussschalen oder Fruchtkernen.

Säulenstruktur unter Verwendung von Pilzmycel als Bindemittel (Quelle: Lund University, Schweden)

3D-gedruckter Lampenschirm aus einem PLA-Holzfasern-Gemisch (Quelle: Rutan Design)



2.3 Datenerzeugung für die Prozesskette der Additiven Produktion

Voraussetzung für den additiven Aufbau eines Bauteils sind, neben dem Zugang zu einer Produktionsanlage, vollständige 3D-Geometrieinformationen. Für deren Anfertigung können 3D-CAD-Programme genutzt werden, die die dreidimensionalen Daten in ein Facettenmodell umwandeln. Dabei wird die Bauteilform über Dreiecke angenähert (Triangulation). Bei gekrümmten Flächen kann es daher, je nach Anzahl der Dreiecke, zu Ungenauigkeiten und Abweichungen vom eigentlichen Entwurf kommen. Die an gedruckten Bauteilen häufig erkennbaren Dreiecksfacetten sind ein Resultat der Geometrieannäherung durch das STL-Format.

Sollen Gegenstände oder Körper als Grundlage für die Datenerstellung genutzt werden, bieten moderne, taktile oder optische Messtechniken die Möglichkeit dazu (zum Beispiel 3D-Scanning). In den letzten Jahren haben sich verschiedene Techniken entwickelt, mit denen die Daten in unterschiedlich genauer Auflösungsqualität aufgenommen werden können. Die einfachste Möglichkeit für das 3D-Scannen ist sicherlich das Arbeiten mit Fotos.

Eine Digitalkamera kann heute aus mindestens 20 Fotos mit einer geeigneten Software ein beliebiges Objekt in ein 3D-Modell transferieren. Zur qualitativ hochwertigen Datenerfassung sind in den letzten Jahren eine Vielzahl von Scansystemen am Markt erschienen. Diese arbeiten auf Basis der Photogrammetrie und erfassen ein Objekt mit mehreren Kamerasensoren aus verschiedenen Perspektiven. Die verschiedenen Einzelaufnahmen werden in eine Punktwolke überführt und durch Triangulation 3D-Oberflächen rekonstruiert.



Hier geht es zur
Onlinebroschüre



Photogrammetrische 3D-Scan-Technologie für die Produkt- und Körpererfassung (Quelle: botspot)

3.

Von der Nische in den Massenmarkt – Wertschöpfung mit additiver Fertigung



3.1 Markteinschätzung

Der Gesamtmarkt rund um die additive Fertigung ist in den letzten Jahren stark gewachsen. Trotz einer pandemiebedingten Stagnation im Jahr 2020 soll der industrielle 3D-Druck-Markt bei einem durchschnittlichen Wachstum von jährlich 20% zwischen 2020 und 2025 auf knapp 18 Milliarden Euro anwachsen. Insbesondere in dem für industrielle Relevanz von AM-Technologien bedeutenden Metall-3D-Druck-Bereich wird in den nächsten fünf Jahren ein jährliches Wachstum von über 29 Prozent prognostiziert (vgl. AMPower 2021).

Pulverbett-Systeme weisen sowohl im Metall- als auch im Kunststoffbereich von 3D-Druck-Anlagen den größten industriellen Anteil auf. Durch die Vielzahl von Innovationen bei Binderdruck, harzbasierten Systemen und beim Auftragschweißen wird bis 2025 mit einer in Relation leicht sinkenden Bedeutung der Pulverbetttechnologien gerechnet. Die sinkenden Kosten verschiedener AM-Verfahren machen diese für die industrielle Massenproduktion zunehmend interessant.

In den 2000er Jahren haben qualitative Nachteile die Bedeutung additiv gefertigter Bauteile ausschließlich auf eine schnelle Anfertigung von Prototypen (Rapid Prototyping) und Werkzeugen (Rapid Tooling) beschränkt. Mit den in den 2010er Jahren aufgekommenen Vielzahl von Start-Ups und neuer Herstellenden kam es zu einer Neuausrichtung des Marktes hin zu der direkten Produktion von Bauteilen - sowohl im privaten als auch im industriellen Bereich. Der Anteil 3D gedruckter Endverbrauchsteile nahm folglich zu. Mit der zunehmenden Substitution traditioneller subtraktiver Fertigungsverfahren wurden

die Markteintrittsbarrieren im produzierenden Gewerbe gesenkt - insbesondere für junge Unternehmen mit innovativen Geschäftskonzepten. Vor allem durch die Kombination additiver Fertigung und digitaler Vernetzung rückten völlig neue Wertschöpfungspotenziale in den Vordergrund.

Eine Veränderung der Marktsituation ist durch eine Vielzahl von Fusionen und Übernahmen im AM-Bereich zu beobachten. Dabei werden unterschiedliche Strategien verfolgt:

1. Klassische Produktionsunternehmen sichern sich Fertigungskapazitäten im AM-Bereich und erhöhen ihre Reichweite.
2. 3D-Druck-Anlagenherstellende erweitern ihre Technologieführerschaft.
3. AM-Unternehmen bauen ihre Position entlang der Wertschöpfungskette aus.

Die pandemiebedingten Einschränkungen von Lieferketten hat bei vielen produzierenden Unternehmen zu einem verstärkten Einsatz von Fertigungsoptionen der 3D-Druckindustrie geführt.

Hier geht es zur
Onlinebroschüre












3.2 Neue Märkte durch Additive Produktion

Die Technologiereife additiver Produktionsverfahren hat sich in den verschiedenen Branchen unterschiedlich schnell entwickelt. Während sich 3D-Druckverfahren aufgrund der Individualisierbarkeit zunächst für Medizintechnik und aufgrund der durch Formfreiheit erreichbaren Gewichteinsparung in der Luft- und Raumfahrt bewährt haben, wird ein verstärkter Einsatz additiver Produktionsverfahren in den nächsten Jahren vor allem in der Automobilindustrie, der Elektronik und in der Konsumgüterindustrie erwartet.

Mit dem ersten 3D-gedruckten Gebäude Deutschlands hat die Nutzung additiver Technologien auch in der Baubranche Marktreife erreicht. Der Mehrwert additiver Prozesse für das Bio-Printing von Organen und Hautimplantaten sowie für die Herstellung von Lebensmitteln mit personalisiertem Nährstoffgehalt liegt auf der Hand. Hier werden die Technologien derzeit entwickelt, es wurden bereits einige hochinteressante Demonstrationsprojekte veröffentlicht.

Die branchenspezifische Technologiereife der bedeutendsten additiven Verfahren ist in folgender Grafik beschrieben:

Branche	Pulverbettverfahren			Strangablegeverfahren			Photopolymerisation		
	 Prototyping	 Tooling	 Manufacturing	 Prototyping	 Tooling	 Manufacturing	 Prototyping	 Tooling	 Manufacturing
Automobilindustrie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	•
Architektur, Möbeldesign, Design und Kunst	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓
Elektrotechnik- und Elektronikindustrie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Film- und Unterhaltungsindustrie	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✓
Luft- und Raumfahrtindustrie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Medizintechnik, Prothetik, Dentaltechnik, medizinische Hilfsmittel	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Nahrungsmittelindustrie	✗	✗	✗	✓	✗	•	✗	✗	✗
Rüstungsindustrie	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Sportgeräteindustrie	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗
Spielwaren- und Game-Industrie	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓
Textil- und Bekleidungsindustrie	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗
Wissenschaft	✓	•	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗

✓ Technologie ist soweit/bereits im produktiven Einsatz ✗ Technologie ist noch nicht so weit/ nicht relevant • Technologie ist noch im Entwicklungsstadium

Branchenspezifische Anwendungsfelder der am häufigsten genutzten Verfahren (Richter, Wischmann 2016)

3.2.1 Konsumgüter, Haushalt, Sportartikel, Mode

Die Studie „Predicts 2018: 3D Printing and Additive Manufacturing“ vom amerikanischen Analyseunternehmen Gartner Inc. geht davon aus, dass mittelfristig rund ein Fünftel der führenden Unternehmen der Konsumgüterindustrie additive Produktionsverfahren für Entwicklung und Herstellung ihrer Produkte einsetzen. Der Hauptfokus wird dabei nach wie vor auf dem schnellen Prototypenbau liegen, um Entwicklungszyklen zu verkürzen und Investitionsrisiken zu minimieren. Dabei wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass additive Fertigungsverfahren im Konsumgüterbereich mit Blick auf die Kostenstruktur die traditionelle Massenfertigung nicht ersetzen, sondern ergänzen werden. Der Einsatz des 3D-Drucks wird dort erwartet, wo individuelle Produktpassungen einen signifikanten Mehrwert bieten und/oder die Verbraucher solche Qualitätsmerkmale erwarten. Das gilt beispielsweise bei Schmuck, in der Mode, bei Schuhen oder im Sportbereich.

Im Sommer 2016 fand in Düsseldorf Deutschlands erste Fashion Show für 3D gedruckte Bekleidung statt. Seitdem hat sich ein eigener Markt für additiv erzeugte Mode entwickelt, für den zahlreiche Designende weltweit Entwürfe umsetzen und eigene Formate für Herstellung und Vermarktung entwickelt haben. Vor allem die Möglichkeit zur Herstellung von Kleidung mit dem heimischen 3D-Drucker kann zu deutlichen Veränderungen in der Textilbranche führen. Additive Technologien können zudem auch zu einer erheblichen Reduzierung der eingesetzten Ressourcen im Textilbereich beitragen, da Verschnitt entfällt und Material nur dort eingesetzt wird, wo es auch benötigt wird.

Marktpotenzial

In manchen Bereichen der Konsumgüterindustrie werden sich durch den Einfluss von 3D-Drucktechniken Lieferketten deutlich verändern. Neue Geschäftsmodelle werden entstehen, die einen deutlichen Vorteil gegenüber den bisherigen Angeboten mit sich bringen. Vor allem für die Ersatzteillogistik erwarten die Unternehmen durch additive Produktionsverfahren erhebliche Einsparpotenziale. Im Jahr 2017 haben einige Baumarktketten begonnen, ihrer Kundschaft 3D-Druck-Dienstleistungen anzubieten.

3.2.2 Fahrzeugbau

Die Automobilindustrie war eine der ersten Industrien, die additive Fertigungsverfahren einsetzen. Im Rahmen von Entwicklungsprozessen wurden diese bereits seit Mitte der 1990er Jahre für die schnelle Prototypenherstellung genutzt. Obwohl eine ganze Reihe additiv erzeugter Konzeptfahrzeuge wie die Studien Genesis oder Light Cocoon von EDAG aus Fulda die Potenziale für die Fahrzeugindustrie in Sachen Leichtbau und Funktionsintegration bereits frühzeitig aufgezeigt haben, scheint sich die Technologie in der Massenproduktion von Fahrzeugen erst mit den veränderten Produktionsprozessen im Zuge des Ausbaus der Elektromobilität zu etablieren.



NextGenSpaceframe 2.0: Additiv gefertigter Knoten in Kombination mit Strangprofilen (Quelle: EDAG Engineering GmbH)

So setzt beispielsweise Volkswagen bei der Produktion seines Elektrofahrzeugs ID.3 auf 3D-gedruckte Bauteile aus Metall und möchte künftig bis zu 100.000 Komponenten pro Jahr bis 2025 in Wolfsburg additiv produzieren. Zu diesen zählen vor allem leistungsfähige Funktionsteile mit hoher struktureller Komplexität wie Spiegelhalterungen oder Schalthebel. Neue Trends bei der Digitalisierung der Mobilität und bei autonomen Fahrzeugen zwingen die Herstellenden und Zuliefernden dazu, in der Produktion flexibler zu werden. Zur Einbindung additiver Fertigungsverfahren in die Automobilproduktion gehen die großen Fahrzeugbauenden strategische Partnerschaften mit AM-Anlagenherstellenden ein und initiieren Kooperationsprojekte zur Industrialisierung des 3D-Drucks.

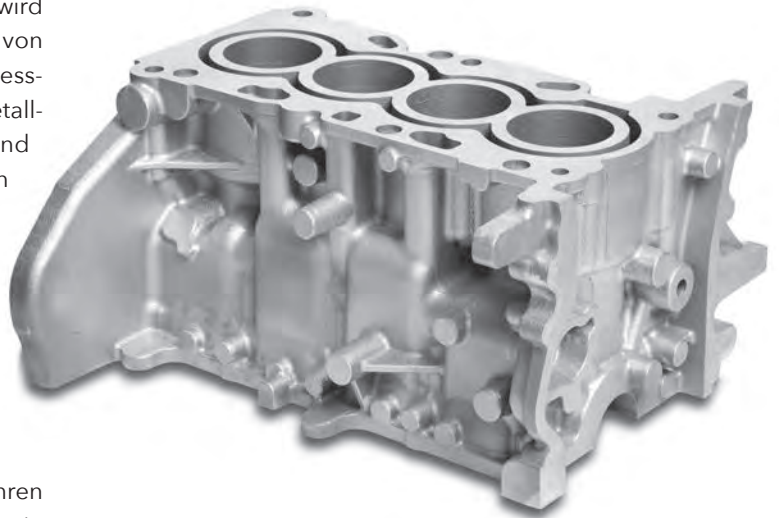


Marktpotenzial

Mit der steigenden Produktivität der AM-Anlagen wird die additive Produktion für die Massenproduktion von Fahrzeugen immer interessanter. Für manche Prozesstechnologien kann die additive Herstellung von Metallbauteilen schon jetzt deutlich kostengünstiger und schneller realisiert werden, was 3D-Drucktechnologien in Kombination mit den Potenzialen für den Leichtbau für den Fahrzeugbau wirtschaftlich werden lässt. So soll der AM-Markt in der Automobilindustrie nach einer US-amerikanischen Studie von Juni 2021 bis 2027 bei einem jährlichen Wachstum von durchschnittlich 10,8% voraussichtlich auf 1,2 Milliarden US-Dollar anwachsen (Quelle: Market Watch 2021).

Das Marktwachstum spiegelt sich in den letzten Jahren bei den großen Herstellern der Automobilindustrie auch im Aufbau additiver Fertigungszentren wider. So haben General Motors, Seat oder Volkswagen Personal in 3D-Druckzentren aufgebaut. Mitte 2020 hat die BMW Group einen „Additive Manufacturing Campus“ in der Nähe von München eröffnet und sämtliche Maßnahmen zur Forschung und Weiterbildung sowie zur Produktion mit additiven Fertigungsverfahren an einem Standort gebündelt. Bereits im Jahr 2019 wurden innerhalb der BMW Group 300.000 Bauteile additiv erzeugt.

Additiv erzeugter 4-Zylinder Motorblock aus AlSi10Mg
(Quelle: FKM Sintertechnik)



Additiv erzeugtes Ersatzteil für die Deutsche Bahn
(Quelle: 3D Pioneers Challenge 2019)

Goodyear Oxygene-Studie
(Quelle: Goodyear)

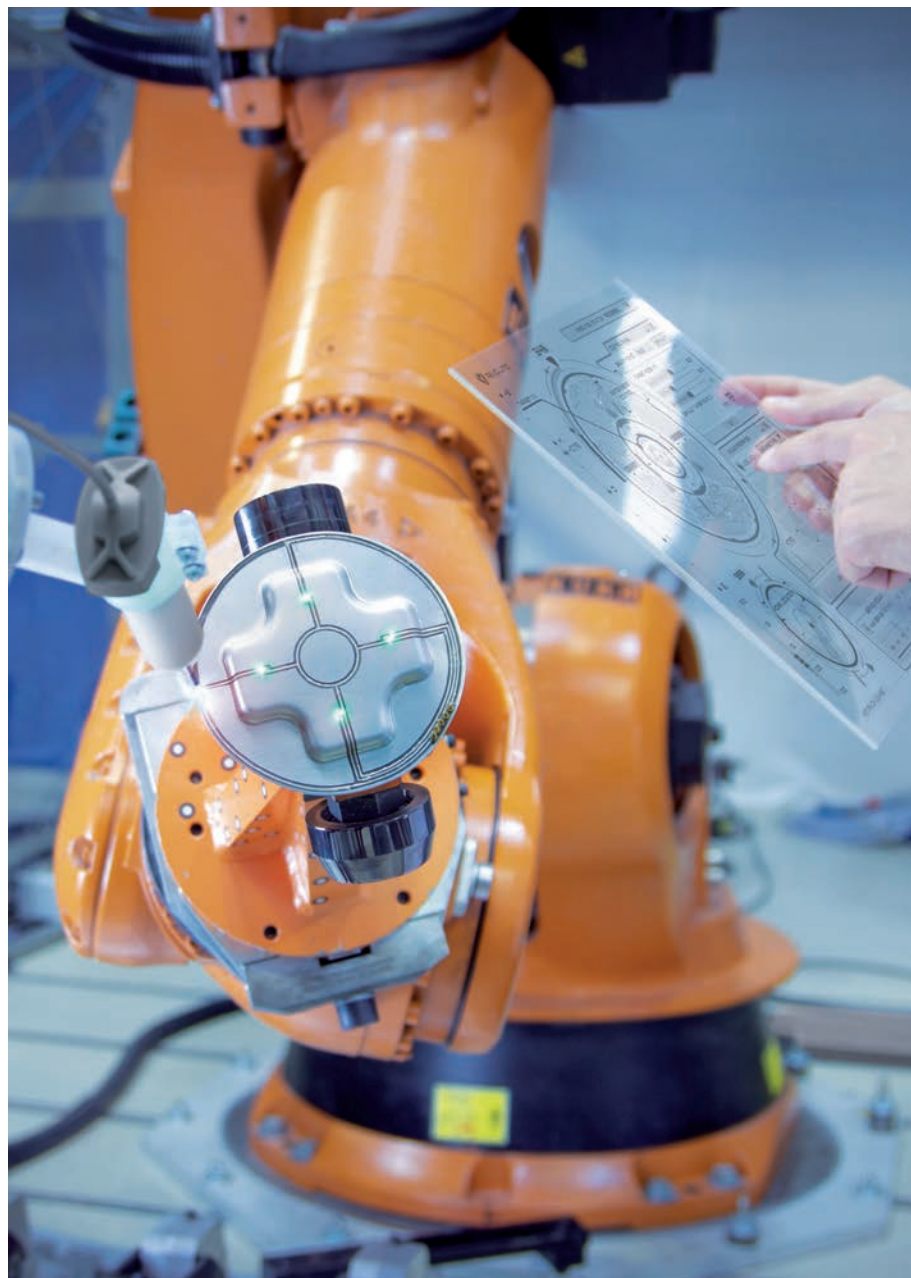


3.2.3 Elektronik

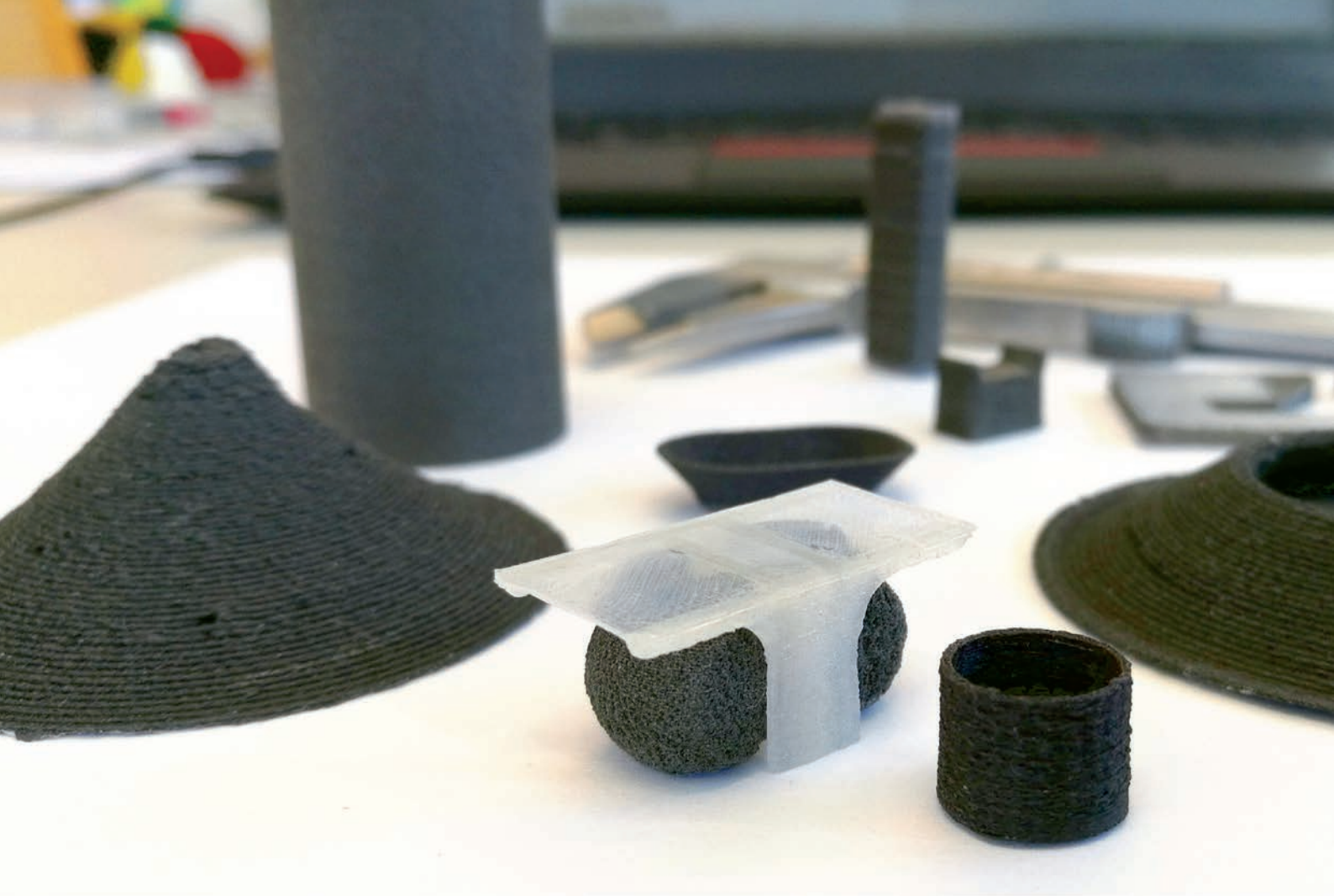
3D-gedruckte elektronische Systeme halten derzeit Einzug in zahlreiche Anwendungsfelder: in der Medizintechnik, bei der Entwicklung und der Produktion elektronischer Geräte, im Fahrzeugbau, der Luft- und Raumfahrt, für mobile digitale Systeme und im Energiebereich. Bestimmte Funktionen und Eigenschaften lassen sich durch den 3D-Druck sehr viel schneller und einfacher realisieren als mit den konventionellen Fertigungsmethoden. Dazu zählen Applikationen mit elektrisch leitfähigen Strukturen sowie isolierende Bereiche oder sensorische Komponenten.

Vor allem wird die additive Produktion im Elektronikbereich überall dort erwartet, wo sie im Vergleich zu den bisherigen Methoden wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt - beispielsweise durch eine Reduzierung von Bauteilgröße und -gewicht. Insbesondere in der Biomedizin besitzt die schnelle Bereitstellung von individualisierbaren Leiterplatten eine hohe Relevanz. Eine Vielzahl von Methoden und Techniken wurde entwickelt, um elektrisch leitfähige Tinten oder Pasten durch Siebdruck, Dispensverfahren und Ink- oder Aerosol-Jet additiv aufbringen zu können. Hinzu kommen elektrisch leitfähige Filamente, mit denen die Erzeugung einfacher elektrischer Systeme auf konventionellen FLM-Druckern möglich ist.

Vom Graphen-basierten Filamentdruck wird der nächste Entwicklungsschub für die additive Produktion im Elektronikbereich erwartet (Frost & Sullivan 2016). Denn Graphen ist nicht nur eines der mechanisch stärksten Materialien, es verfügt auch über hohe elektrische und thermische Leitfähigkeiten. Man verspricht sich auch Möglichkeiten zum 3D-Druck von Batteriesystemen. Aktuell werden AM-Methoden für die Herstellung von Elektroniklösungen im Nanobereich entwickelt. Unter Verwendung einer dielektrischen Polymer-Tinte und leitfähiger Tinte in Nanodimension ist es dem Elektronikkonzern Hensoldt aus der Nähe von München Mitte 2020 gelungen, die weltweit erste 10-Lagen-Leiterplatte (PCB) zu bestücken, die auf beiden Außenseiten gelötete elektronische Hochleistungsstrukturen trägt.



Digital gesteuerter 2,5 D-Funktionsdruck auf gebogenem Bauteilkörper
(Quelle: Fraunhofer IWU)



Additiv erzeugte Magnetwerkstoffe (Quelle: TU Wien)

Marktpotenzial

Für die nächsten Jahre wird erwartet, dass sich der 3D-Druck in der Elektronik zu einer der Schlüsseltechnologien für die Produktion elektronischer Komponenten entwickelt. Werden aktuell die additiven Verfahren genutzt, um die Produktentwicklung zu beschleunigen, haben wir es vielleicht schon bald mit direkt im 3D-Druck hergestellten funktionalen Komponenten zu tun. Einige große Elektronikkonzerne treiben bereits die Transformation voran. Im Jahr 2029 soll der Gesamtmarkt für 3D-gedruckte Elektronik bereits ein Volumen von 2 Milliarden US-Dollar erreicht haben (Harrop 2019). Einige Anwendungen weisen häufig einen starken Bezug zu herkömmlichen zweidimensionalen Drucktechniken auf. Für das Bedrucken dreidimensionaler Körper mit funktionalen Oberflächen wie Sensoren spricht man deshalb häufig von 2,5 D-Druck.



3D-gedruckte Antenne (Quelle: Neotech)

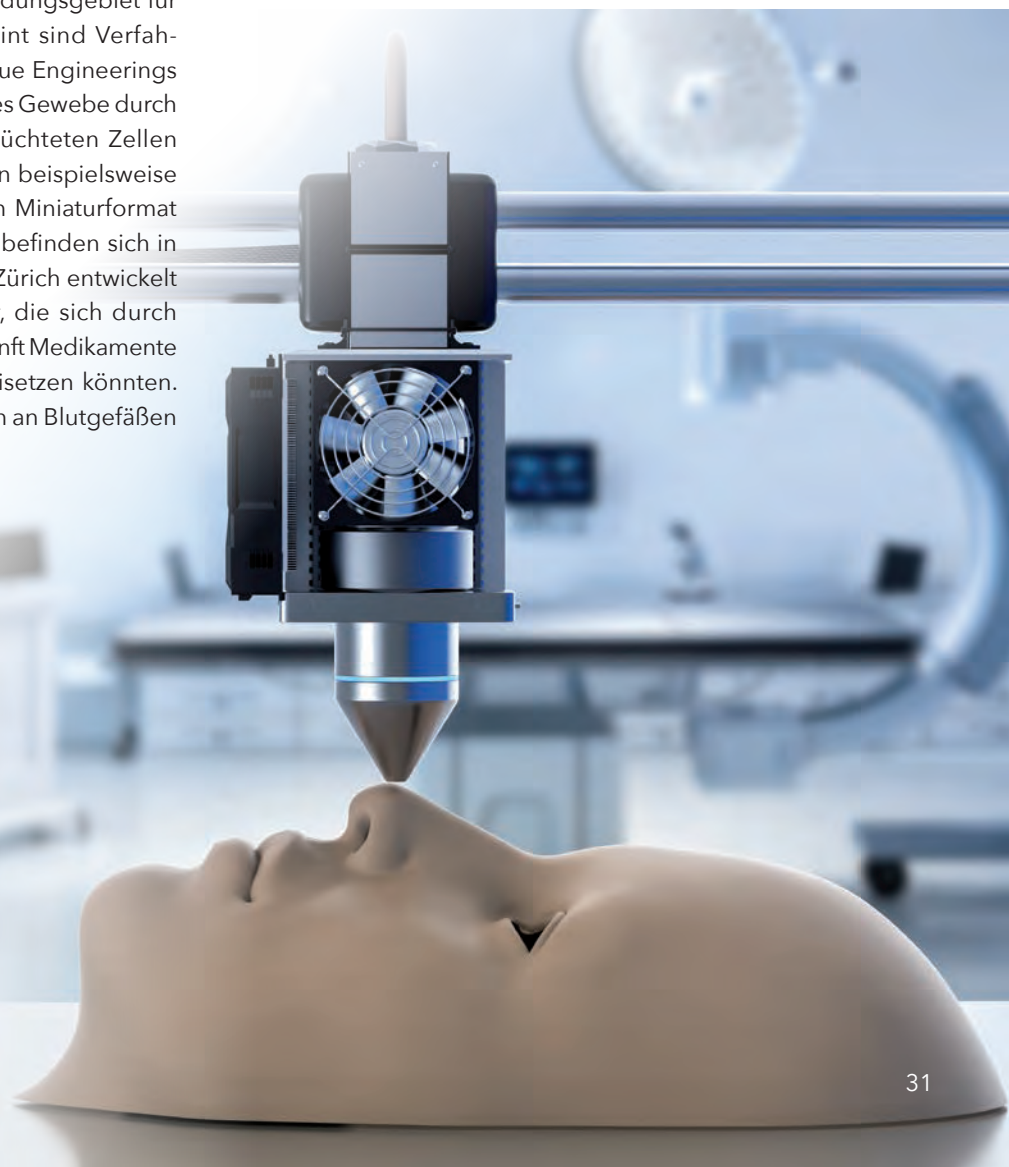
3.2.4 Bio-Printing

Gerade in der Medizintechnik haben Additive Fertigungsverfahren große Bedeutung, da mit ihnen die Umsetzung individueller Geometrien und Bauteile mit Losgröße 1 möglich ist. Dies ermöglicht zum Beispiel den Test von operativen Eingriffen an gedruckten Modellen zu überschaubaren Kosten. Zudem kann der schichtweise Aufbau Innenhohlraumstrukturen realisieren, wie man sie beispielsweise in der Natur bei Knochen finden kann. Mit konventionellen zerspanenden Techniken wie Fräsen oder Drehen war dies bislang nicht möglich. Die Medizintechnik ist daher der Industriebereich, in dem der Einsatz Additiver Fertigungsverfahren am stärksten etabliert ist. In einigen Produktbereichen wie individuelle Hörgeräte haben sie die konventionellen Verfahren nahezu vollständig ersetzt.

Generative Fertigungstechniken haben auch das Potenzial Materialmischungen zu verarbeiten, um Formteile exakt auf die individuellen Anforderungen des menschlichen Körpers anzupassen - ob in Form von Implantaten, Prothesen oder als Zahnersatz. Mit dem Bio-Printing wurde in den letzten Jahren ein neues Anwendungsgebiet für additive Techniken entwickelt. Gemeint sind Verfahren, die mit Hilfe des sogenannten Tissue Engineerings menschliches beziehungsweise tierisches Gewebe durch 3D-Drucken von in einer Biotinte gezüchteten Zellen herstellen können. So wurde inzwischen beispielsweise ein Herz aus menschlichem Gewebe in Miniaturformat gedruckt. Systeme zu gedruckter Haut befinden sich in der klinischen Erprobung. An der ETH Zürich entwickelt ein Team 3D-gedruckte Mikroroboter, die sich durch Blutgefäße befördern lassen und in Zukunft Medikamente an bestimmten Stellen des Körpers freisetzen könnten. Perspektivisch sollen auch Verengungen an Blutgefäßen behandelt werden können.

3D-gedrucktes Miniherz aus menschlichen Zellen
(Quelle: University of Tel Aviv, Tal Dvir's Laboratory for Tissue Engineering and Regenerative Medicine)

3D-Gesichtsdrucker
(Quelle: AdobeStock/phonlamaiphoto)





3D gedruckte Gerichte (Quelle: Foodini)

3.2.5 Ernährung und Eventgastronomie

Sogenannte Food-Printer führen seit 2014 auch im Nahrungsmittelbereich zu einer Markterweiterung von 3D-Druckverfahren. Obwohl von Beginn an der Consumerbereich adressiert wurde, schränken bislang Kosten der Anlagen und das nötige KnowHow die Verwendung auf Profiküchen und den Eventbereich ein. Die Gastronomie baut aktuell neue Geschäftsmodelle rund um Food-Printer auf. Ein prominentes Beispiel ist das Start-Up Food INK. aus London, das sich mit dem Konzept zur Schaffung von besonderen „Gourmet-Erlebnissen“ in temporären Pop-up-Dinners am Markt platziert hat. Dabei werden nicht nur die Gerichte, sondern auch alle Utensilien und Möbel vollständig im 3D-Drucker erstellt.

Als eine der ersten haben niederländische Forschende für Food-Printer vor allem das Potenzial zur Bereitstellung von Lebensmitteln mit personalisiertem Nährstoffgehalt im medizinischen Bereich gesehen. So könnten in der Zukunft wichtige Nährstoffe oder Omega-3-Fettsäuren der Nahrung individuell hinzugefügt werden. Indem beispielsweise Algenproteine anstelle von ressourcenintensiven tierischen Proteinen verarbeitet werden, könnte zudem ein Beitrag zu einer nachhaltigeren Nahrungsmittelproduktion erreicht werden.



3D gedruckte Kaubonbons (Quelle: Wacker Chemie)

3.2.6 Baubranche

Ressourceneinsatz und Anteil physischer, menschlicher Arbeit ist, im Vergleich zu anderen Industrien, im Bauwesen immer noch sehr hoch. Die Digitalisierung wird auch hier in den nächsten Jahren Innovationssprünge auslösen, die in Kombination mit den Möglichkeiten additiver Fertigungsverfahren neue Kosten- und Nachhaltigkeitspotenziale erschließen werden. Weltweit befinden sich seit einigen Jahren Methoden für den 3D-Gebäudedruck in der Entwicklung, die das Bauwesen, so wie wir es aktuell noch kennen, revolutionieren werden.

Um die Technologien der Additiven Fertigung in die Bauindustrie zu transferieren, sind noch zahlreiche Herausforderungen zu überwinden. Die durchgängige Digitalisierung aller beteiligten Prozesse bei Bauplanung und -durchführung bildet die Grundlage für eine erfolgreiche Einführung. Darüber hinaus muss die in der Bauindustrie notwendige Materialvielfalt mit den additiven Technologien in der gewünschten Qualität abgebildet werden können. Ob Beton, Lehm, Stahl, Kunststoff oder

Metall: Die Entwicklung der additiven Techniken und der verarbeitbaren Werkstoffe sind voneinander abhängig und Gegenstand einer Vielzahl aktueller Entwicklungsvorhaben bei Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Neben dem Druck ganzer Gebäudestrukturen befinden sich auch additiv erzeugte Bauelemente wie Fassaden, Befestigungssysteme, Fenster, Türen und Böden in der Markteinführung.

3D gedruckte Pflastersteine (Quelle: PrintStones, Special Mention Auszeichnung bei der 3D Pioneers Challenge 2020)



Mobiler 3D-Drucker zur additiven Erzeugung von Pflastersteinen (Quelle: PrintStones)

3.3 3D-Druckdienstleistende und Content-Plattformen

Aufgrund der hohen Anschaffungskosten für additive Produktionsanlagen haben sich bereits vor einigen Jahren Dienstleistende am Markt etabliert. Waren diese früher vor allem für Entwicklungsabteilungen von Unternehmen tätig, die aus ökonomischen und strategischen Gründen keine eigenen Anlagen betreiben wollten, so haben sich mit dem steigenden Interesse für die additive Produktion Online-Plattformen am Markt etabliert. Auf diesen können 3D-Daten für den Druck von Teilen hochgeladen und der Bau mit einem bestimmten Material und der gewünschten Farbe in Auftrag gegeben werden. Einige Dienstleistende unterstützen die Anwendenden bei der Generierung der notwendigen Daten oder bieten Kontakte zu Designern. Meist geben die Online-Druckdienste auch eine Übersicht von bereits zur Verfügung stehenden finalen Gestaltungen, die sich auswählen und individuell konfigurieren lassen. Einige Druckdienstleistende unterstützen online auch bei der Preisfindung bzw. bieten die Erstellung von 3D-Druckdateien auf Basis von 2D-Skizzen an.

3D-Colorprint:	www.3d-colorprint.de
3 Faktur:	www.3faktor.com
Fabberhouse:	www.fabberhouse.de
Materialise:	www.materialise.com
Pagu:	www.pagu-3d.de
Ponoko:	www.ponoko.com
Protiq:	www.protiq.com
Protolabs:	www.protolabs.com
Sculpteo:	www.sculpteo.com
Shapeways:	www.shapeways.com
Trinckle:	www.trinckle.com
Trindo Digitalmanufaktur:	www.trin.do

Übersicht einiger Online-3D-Druckdienstleistenden

Diese Plattformen wurden in den letzten Jahren immer mehr erweitert und bedienfreundlicher. Zudem passen sich die Geschäftsmodelle einiger Plattformen immer stärker auch an individuelle Bedürfnisse von Produktgestaltenden und Kunstschaffenden an und bieten diesen so neue Vertriebsmöglichkeiten. So können diese an einer Kommission für Hochladen und Nutzung von Daten verdienen. Teilweise dürfen die 3D-Baupläne auch heruntergeladen werden, um diese anzupassen.

Neben den Online-Druckdienstleistern haben sich auch spezielle Plattformen im Netz etabliert, auf denen sich die eigenen 3D-Entwürfe und Bauteilpläne ablegen und tauschen lassen. Mit einer Suchfunktion kann aus Objektdaten der passende Entwurf für den eigenen Ausdruck gesucht werden. Zum Download stehen meist eine oder mehrere STL-Dateien zur Verfügung. Bei manchen Plattformen sind neben STL-Daten auch Quelldaten verfügbar.

3.3.1 FabLabs und MakerSpaces

In mehreren Städten bieten örtliche Druckdienstleistende ihre Kompetenzen an. Diese Angebote reichen vom Komplettservice mit mehreren Anlagen über Do-It-Yourself-(DIY)-Druckshops bis hin zu Fab-Labs und 3D-Hubs. In der Regel vertreiben 3D-Druckereien sowohl fertig gedruckte Bauteile als auch die Dienstleistung des eigentlichen Druckvorgangs. Bei DIY-Druckshops hat man die Möglichkeit, sich einen 3D-Drucker auszuleihen und den Druckprozess zu Hause oder im Büro durchzuführen.

Die Idee eines FabLabs (fabrication laboratory) stammt vom MIT Media Lab aus Boston, welches unter Leitung von Professor Neil Gershenfeld im Jahr 2001 eröffnet wurde. Gemeint ist eine kleine Werkstatt mit einigen Druckern und weiteren Anlagen wie Fräsen oder Laser-Cutter, die von einer Community unter Verwendung von Open-Source-Software gemeinsam oder unter Anleitung freiwilliger Helfer genutzt werden können. Der Community-Gedanke stellt sicher, dass jeder Zugang zu allen technischen Möglichkeiten additiver Fertigung und der notwendigen Software erhalten kann. Die einzelnen FabLabs werden als Vereine betrieben, sind regional organisiert und oft über einen Verbund mit anderen FabLabs vernetzt.

Ein Verhaltenskodex und die Selbstverpflichtung für alle offenen Werkstätten sind in der FabLab-Charta zusammengefasst, die durch die Fab Foundation kommuniziert wird. Für Einsteigende werden in der Regel sogenannte Open FabLab-Termine eingerichtet, damit jeder Drucker und Software eigenständig benutzen kann. Im April 2014 wurde in Darmstadt ein FabLab im Umfeld des Fraunhofer IGD eröffnet. Solche auch als MakerSpaces bezeichnete FabLabs finden sich in Hessen beispielsweise in Wiesbaden (Makerspace Wiesbaden e.V.), Kassel (Hammertime Kassel), Gießen (MAGIE), Darmstadt (HUB 31), Friedberg (Makerspace Friedberg), Fulda (oLaF), und Frankfurt am Main (tatcraft).

Hier geht es zur
Onlinebroschüre



Den Community-Gedanken gibt es nicht nur in Bezug auf Werkstätten, die Drucker unterhalten, sondern auch für Privatpersonen, die eine additive Fertigungsanlage erworben haben, diese aber nicht rund um die Uhr verwenden. Das Geschäftsmodell der 3D-Hubs kommt aus den Niederlanden. Auf einer Plattform wird Besitzenden von 3D-Druckern angeboten, die Benutzung der Anlage

anderen Personen und Unternehmen gegen eine Gebühr zu ermöglichen. Dies führt zu einer größeren Auslastung der Anlagen und gibt den Besitzenden der Drucker die Möglichkeit, Umsätze zu generieren. Bei jedem Auftrag, der über 3D-Hubs abgewickelt wird, verdienen die Plattformbetreibenden aus Amsterdam mit, denn es wird eine Kommission auf den Druckpreis erhoben.

3.4 Rechtsfragen im Kontext der additiven Fertigung

DISCLAIMER

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei den in diesem Kapitel dargestellten Informationen weder um eine abschließende Darstellung noch eine individuelle Rechtsberatung handelt. Die Ausführungen dienen lediglich der Darstellung aktueller Fragen und

Sichtweisen, um einen Überblick für die dargelegten Problematiken und Zusammenhänge zu geben. In keinem Fall ersetzen die Ausführungen eine individuelle Rechtsberatung bei fachlich entsprechend geschulten Personen.

Spätestens mit dem ersten Aufkommen von Plattformen zum Austausch von Daten für den 3D-Druck werden immer öfter Fragen nach den rechtlichen Rahmenbedingungen gestellt. Die Gesetzgebung ist in Bezug auf die Entwicklung, den Vertrieb und den Gebrauch von dreidimensionalen Gegenständen und Produkten mit dem Urheber-, Marken-, Patent-, Gebrauchs- und Geschmacksmusterrecht sowie der Gesetzgebungen zum Schutz personenbezogener Daten zwar umfangreich aufgestellt, doch birgt der digitale Austausch und der additive Nachbau von Bauteilen eine ganze Reihe von Gefahren der Rechtsverletzung, ohne dass es den Nutzenden klar sein dürfte. Dies sind zum Beispiel Schadensersatzforderungen bei Versagen eines additiv erzeugten Bauteils, die Verwendung privat gedruckter Gegenstände in Gewerberäumen oder das Scannen eines rechtlich geschützten Produkts für die Datenerzeugung zum 3D-Druck. Am offensichtlichsten wird die Rechtsproblematik sicherlich bei der Verbreitung von Daten zum Bau von Waffen über das Internet.

Hier geht es zur
Onlinebroschüre



Technologieland Hessen

Informieren, beraten, vernetzen: Das Technologieland Hessen unterstützt Unternehmen dabei, zukunftsweisende Innovationen zu entwickeln. Wir entfalten wirtschaftliche Potenziale, machen technologische Spitzenleistungen sichtbar und profilieren damit Hessen als Technologie- und Innovationsstandort. Umgesetzt wird das Technologieland Hessen von der Hessen Trade & Invest GmbH im Auftrag des Hessischen Wirtschaftsministeriums.

Unsere Angebote umfassen:

- Vernetzung von Akteuren, Kooperationsvermittlung
- Fach- und Informationsveranstaltungen
- hemenspezifische Publikationen
- Newsletter und Magazin „Technologieland Hessen“
- Beratung und Förderung
- Messebeteiligungen und Außenwirtschaftsförderung

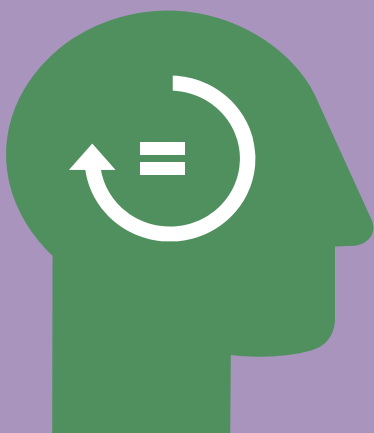
Um mit den aktuellen technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen Schritt zu halten, ist es wichtig, sowohl einzelne Technologien im Auge zu behalten als auch Synergien zu erkennen. In fachspezifischen Innovationsfeldern bildet das Technologieland Hessen deshalb unterschiedliche Schwerpunkte ab.

Materialtechnologien

Im Innovationsfeld Materialtechnologien unterstützen wir die hessischen Akteure bei der Entwicklung, Fertigung und Anwendung innovativer Materialien. Dabei legen wir besonderen Fokus auf Nachhaltige Materialien, Funktionsmaterialien und neue Fertigungsverfahren.

Egal ob durch Materialdesign mit ungeahnten Eigenschaften und Funktionen oder innovativen Fertigungsverfahren: Materialtechnologien beflügeln auf vielerlei Wegen die Leistungsfähigkeit einer wettbewerbsfähigen Wirtschaft, die Klima, Ressourcen, Mensch und Umwelt schont. Um diesen Wandel in unserer Wirtschaft, Forschung und Gesellschaft zu unterstützen, begleiten wir aktuelle Trends und sind zentraler Ansprechpartner für Entwickler, Treiber und Anwender der innovativen Materialtechnologien. Nutzen Sie unsere Angebote und bringen Sie sich mit Ihren eigenen Ideen ein. Wir freuen uns auf den Dialog mit Ihnen!





Ihre Ansprechpartner

im Technologieland Hessen,
Innovationsfeld Materialtechnologien:



Dr. Sandro Szabo

Projektleiter

Tel.: +49 611 95017-8631

sandro.szabo@htai.de



Simon Schneider

Projektmanager

Tel.: +49 611 95017-8634

simon.schneider@htai.de

Hessen Trade & Invest GmbH
Konradinallee 9
65189 Wiesbaden
www.htai.de
www.technologieland-hessen.de

Literatur

AMPower: „Additive Manufacturing Report 2021“, Ampower GmbH, April 2021, Hamburg.

BMBF: „Industrie 4.0 - Innovationen im Zeitalter der Digitalisierung“, Hightech-Strategie 2025. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), April 2020.

Frost & Sullivan: „Global Additive Manufacturing Market“. Forecast to 2025, Frost & Sullivan's Global 360° Research Team, USA, Mai 2016.

Gartner 2018: „Predicts 2018 - 3D Printing and Additive Manufacturing“. 29. November 2017, Gartner Inc., Stamford/USA.

Grand View Research: „Healthcare Additive Manufacturing Market Size, Share & Trends“ Analysis Report, Marktanalyse: 2021 - 2028, Grand View Research Inc., Januar 2021, USA.

Harrop, J.: „3D Printed Electronics and Circuit Prototyping - 2019 - 2029“. IDTechEx, 2019.

Horsch, F.: „3D-Druck für alle - Der Do-it-yourself-Guide“. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2014.

Jabil: „3D Printing Technology Trends 2021“ März 2021, Dimensional Research.

Leupold, A.; Glossner, S.: „3D-Druck, Additive Fertigung und Rapid Manufacturing. Rechtlicher Rahmen und unternehmerische Herausforderung“. München: Vahlen Verlag, 2016.

Market Watch: „Global 3D Printing in Automotive Industry 2021-2027“, Marktstudie von Market Watch 2021, New York/USA.

Mordor Intelligence: „3D concrete printing market 2021 - 2026 - Growth, Trends, Covid 19, Forecast (2021 - 2026)“, Marktstudie von Mordor Intelligence, Indien, 2019.

Peters, S.; Drewes, D.: „Materials in Progress - Innovationen für Designer und Architekten“, Birkäuser, Berlin, 2019.

Peters, S.: „Der 3D Gebäudedruck und seine Potenziale“, in: Sonderausgabe „Anders Bauen“, Deutsche Bauzeitung, Konradin Verlag, Juli 2021.

Research and Markets: „3D Food Printing“, Marktstudie von Research and Markets, USA, Juni 2020.

Richter, S.; Wischmann, S.: „Additive Fertigungsmethoden - Entwicklungsstand, Marktperspektiven für den industriellen Einsatz und IKT-spezifische Herausforderungen bei Forschung und Entwicklung“, hrsg. von Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0, iit-Institut für Innovation und Technik in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin, 2016.

VDI: Statusreport „Additive Fertigungsverfahren“, Verein Deutscher Ingenieure e.V., September 2014.

Verband 3DDruck: „Der 3D-Druck - Chancen für nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit in Deutschland und Europa Positionen und Impulse zur Bundestagswahl 2021“, Verband 3DDruck e.V., 2021

Wohlers, T.: „Wohlers' Report 2019“, Wohlers Association, 2020 USA.

Wohlers, T.: „Wohlers' Report 2020“, Wohlers Association, 2021 USA.

Impressum

Herausgeber

Hessen Trade & Invest GmbH
Technologieland Hessen
Konradinallee 9, 65189 Wiesbaden
Telefon: +49 611 950 17-85
Fax: +49 611 950 17-8466
E-Mail: info@technologieland-hessen.de
www.technologieland-hessen.de



Erstellt von

HAUTE INNOVATION
Zukunftagentur für Material und
Technologie
Dr. Sascha Peters
Fidicinstr. 13, 10965 Berlin
Telefon: +49 30 8095 6958
E-Mail: peters@haute-innovation.com
www.haute-innovation.com



Redaktion

Dr. Sandro Szabó,
Simon Schneider
Hessen Trade & Invest GmbH

Sebastian Hummel
Hessisches Ministerium für Wirtschaft,
Energie, Verkehr und Wohnen

Gestaltung

Piva & Piva, Darmstadt

Bildnachweis

© Materialise (Titel),
MarinaGrigorivna / shutterstock (S. 2),
HMWEVW / Oliver Rüter (S. 4),
Zapp2Photo / shutterstock (S. 6),
MX3D - Bild von Adriaan de Groot (S. 8),
BLB Industries (S. 24),
vege / Fotolia (S. 35)

Druck

Druckerei Lokay e. K.
Königsberger Str. 3, 64354 Reinheim



WK9
Dieses Druckerzeugnis wurde mit
dem Blauen Engel ausgezeichnet

www.blauer-engel.de/uz195

Veröffentlichungsdatum

November 2021

© Hessisches Ministerium für
Wirtschaft, Energie, Verkehr
und Wohnen
Kaiser-Friedrich-Ring 75
65185 Wiesbaden
www.wirtschaft.hessen.de

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessen Trade & Invest GmbH im Auftrag des Hessischen Wirtschaftsministeriums herausgegeben. Vervielfältigung und Nachdruck – auch auszugsweise – nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung durch den Herausgeber.

Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlkampfveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Die genannten Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl die Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter.

Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen.



HESSEN
Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen

Projekträger:



HESSEN
TRADE & INVEST

Wirtschaftsförderer für Hessen