

HESSEN



TECHNOLOGIELAND
HESSEN



ADDITIVE FERTIGUNG

DER WEG ZUR
INDIVIDUELLEN
PRODUKTION



INHALT



Vorwort	5
---------------	---

1. Die additive Fertigung - Potenziale im Kontext der vierten industriellen Revolution - Die Vision	6
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

2. Additive Technologien und Fertigungsverfahren	8
2.1 Grundprinzipien und Verfahren	9
2.2 Datenerzeugung und Prozesskette der additiven Fertigung	30
2.3 Prozessketten unter Integration additiver Fertigungsverfahren	31

3. Neue Wertschöpfung mit additiver Fertigung	32
3.1 Markteinschätzung	34
3.2 Qualitative Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	35
3.3 Anwendungsszenarien und Branchen	36
3.4 3D-Druckdienstleister und Content-Plattformen	57
3.5 Rechtsfragen im Kontext der additiven Fertigung	59

4. Additive Fertigung:	
Ausgewählte Erfolgsgeschichten, Potenziale und Projekte aus Hessen	62
4.1 Technische Hochschule Mittelhessen	64
4.2 Kegelmann Technik GmbH	65
4.3 EDAG Engineering GmbH	66
4.4 Heraeus Additive Manufacturing	68
4.5 FKM Sintertechnik GmbH	70
4.6 sauer product GmbH	72
4.7 IETEC Orthopädische Einlagen GmbH Produktions KG	73
4.8 Philipps-Universität Marburg	74
4.9 Technische Universität Darmstadt	75
4.10 Fraunhofer LBF	76
4.11 Hochschule für Gestaltung Offenbach	78
4.12 Frame One	79
4.13 Universität Kassel	80
4.14 Tatcraft GmbH	81
4.15 Fraunhofer IGD	82
4.16 Fiberthree GmbH	83
4.17 Continental Engineering Services GmbH	84

5. Im Überblick	
5.1 Hessische Unternehmen und Forschungseinrichtungen	86
5.2 Literatur	89

Impressum	91
------------------------	-----------

VORWORT



Wir erwarten zahlreiche neue Geschäftsideen rund um die additive Fertigung. Im Hochtechnologie-land Hessen finden Sie ein dichtes Kompetenznetzwerk dazu.“

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



Mit additiven Fertigungsverfahren lassen sich Einzelanfertigungen zu Preisen realisieren, die mitunter schon heute mit der klassischen Massenproduktion konkurrieren können: Dem individuellen Gehörgang angepasste Hörgeräte, Ersatzteile für Oldtimer – das sind einige Beispiele, bei denen sich die additive Herstellung bereits etabliert hat. Sie eignet sich insbesondere für Produkte mit komplexer Geometrie. Ihr großer Vorteil ist die Ressourceneffizienz. Anders als bei der Zerspanung wird nicht solange Material abgetragen, bis nur noch die angestrebte Form übrigbleibt. Beim 3D-Druck wird Material lediglich da aufgetragen, wo es benötigt wird. Es entsteht also kein Überschuss.

Diese Technologie entwickelt sich mit großer Dynamik und verspricht noch viel. Nicht nur die Anlagenhersteller profitieren von den hohen Verkaufszahlen, sondern auch Materialproduzenten und Servicedienstleister. Neuen Akteuren bieten sich große Chancen.

Seit dem Aufkommen der ersten additiven Fertigungsverfahren Mitte der 90er Jahre haben sich in Hessen einige Innovationstreiber einen Namen gemacht. Am Messestandort Frankfurt findet bereits seit Jahren eine der Weltleitmesse auf diesem Gebiet statt. Große hessische Werkstoffhersteller steigen gerade in den Markt ein.

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

Ihr

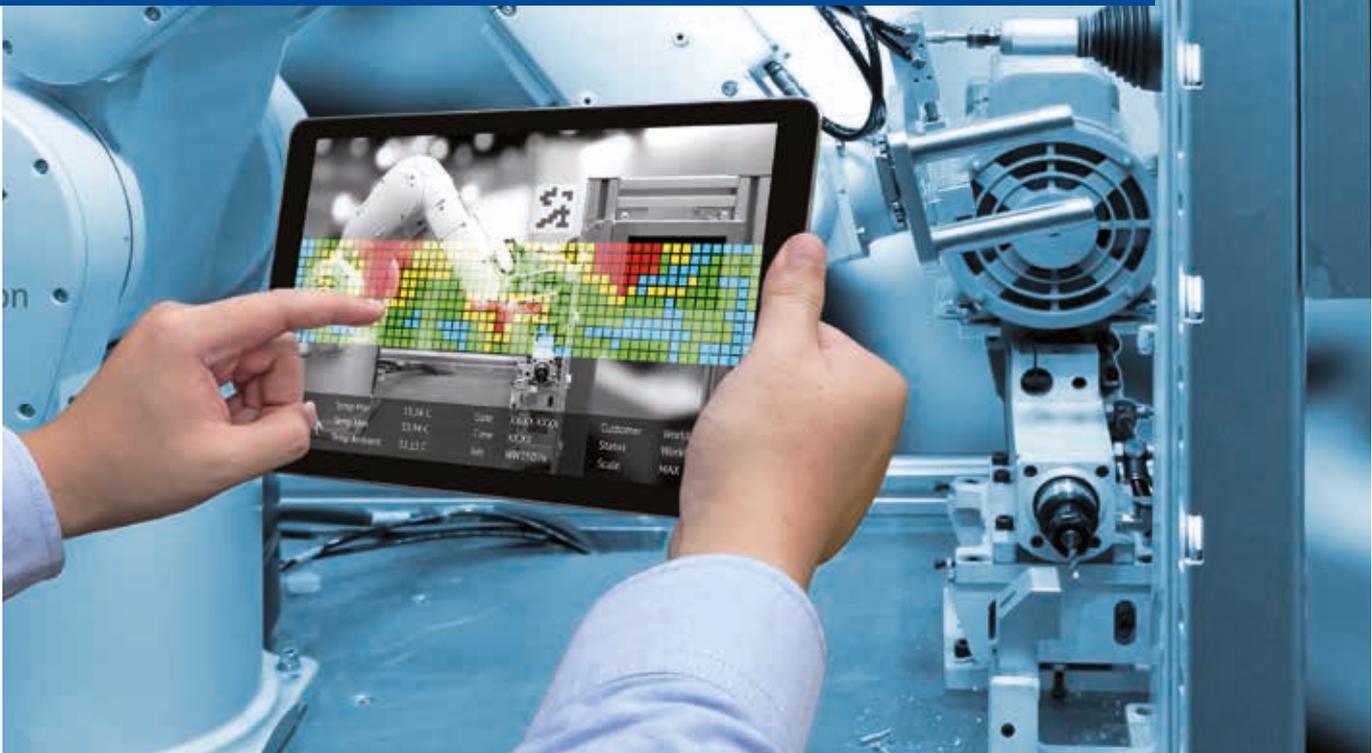
Tarek Al-Wazir

Hessischer Minister für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Landesentwicklung



1. EINLEITUNG

DIE ADDITIVE FERTIGUNG - POTENZIALE IM KONTEXT DER VIERTEN INDUSTRIELLEN REVOLUTION - DIE VISION



Mit der Entwicklung additiver Fertigungsverfahren (kurz: AM) seit den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden einige wichtige Grundlagen für die nächste und damit vierte industrielle Revolution geschaffen. Während die erste industrielle Revolution seit der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts die Überführung handwerklicher Tätigkeiten in mechanisierte Abläufe mithilfe von Wasser- und Dampfkraft meint, wurde mit der zweiten industriellen Revolution arbeitsteilige Massenfertigung an elektrisch betriebenen Fließbändern möglich. Der dritte große Entwicklungssprung industrieller Prozesse ging auf den Einsatz der Informationstechnologien zur Automatisierung der Produktion zurück. Die intelligente Organisation dezentraler Fertigungseinheiten durch Verknüpfung von Informations- und Produktionstechnologie im Internet der Dinge wird die Grundlage bieten für die vierte industrielle Revolution, in der Experten große Potenziale für die deutsche Wirtschaft im globalen Wettbewerb sehen.

Es wird erwartet, dass Kunden in Zukunft über Internet-Portale den Kauf eines Produkts auslösen, die Daten für Bauteile abrufen, beeinflussen und archivieren sowie den Status eines Produktionsauftrags überwachen können. Der Herstellungsprozess wird mit dezentralen Produktionseinheiten dort stattfinden, wo es aus Sicht der räumlichen Verortung des Kunden und der Auslastung der

Fertigungseinheiten sinnvoll erscheint. Nicht die Produkte werden um den Globus geschickt, sondern lediglich die Dateien für ihre Fertigung - individuell anpassbar bis weit in den Produktionsprozess hinein. Die digitalen Fabriken werden sich nicht mehr nur in Fernost befinden, sondern aus dezentralen Produktionseinheiten in regionaler Nähe bestehen, die ‚Einzelstücke vom Band‘ zu vergleichbaren Preisen wie bei der Massenproduktion möglich machen.

Produkte, Maschinen und Transportboxen sind über Mikrochips mit dem Web verbunden. Das Internet der Dinge wird die Selbstorganisation intelligenter Produktionsabläufe ermöglichen und eine Steigerung der Produktivität von bis zu 50 Prozent nach sich ziehen. Zudem wird die Speicherung von Rohstoffinformationen im Produkt die Rezyklierbarkeit fördern und geschlossene Materialkreisläufe ermöglichen. Experten gehen dabei mittelfristig von Einsparpotenzialen an Energie und Ressourcen in der Größenordnung von 20 bis 25 Prozent aus.

Den additiven Fertigungsverfahren wird im Kontext der vierten industriellen Revolution eine entscheidende Rolle beigemessen. Denn durch den aufbauenden Charakter wird das bisherige Verständnis konventioneller, Material abnehmender zerspanender Techniken wie Fräsen, Bohren oder Drehen vollständig revidiert. Dabei werden

nicht nur Ressourcen eingespart und Produktionsabfälle vermieden, es werden Produktteile mit derart komplexen Geometrien möglich, die auf konventionellem Wege wie mittels Gussverfahren gar nicht umsetzbar wären.

Experten gehen davon aus, dass sich die generative Fertigung zunächst als Ergänzung zu bisherigen Produktionsprozessen etablieren wird. Auffällig ist schon heute die große Anzahl von Unternehmensgründungen im kleingewerblichen Bereich, die durch Weiterentwicklung der additiven Produktionsverfahren ausgelöst wurde. Die Möglichkeit zum Betrieb von Mini-Fabriken mit neuen Geschäftsmodellen und individualisierten Produkten haben 3D-Druck-Entrepreneure in nahezu allen größeren Städten aktiv werden lassen, die zudem durch Crowdfunding-Kampagnen das nötige Kapital über das Internet und die sozialen Netzwerke finden konnten (Vergleich Horsch, Florian: 3D-Druck für alle - Der Do-it-yourself-Guide. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2014).

„Es wird massenhaft Nischen geben“, sagt der Internet-Visionär Chris Anderson und blickt in die Zukunft des 3D-Drucks. „Wir werden einfach nur mehr von allem sehen: Mehr Innovation, an mehr Orten, von mehr Menschen, die sich auf mehr und engere Nischen konzentrieren. Gemeinsam werden all diese neuen Produkte die industrielle Wirtschaft neu erfinden, oft mit nur wenigen Tausend Stück auf einmal, aber es werden die genau richtigen Produkte für einen zunehmend anspruchsvollen Konsumenten sein.“ (Quelle: Anderson, C.: Makers. Das Internet der Dinge: die nächste industrielle Revolution. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2013)

Diese Entwicklung scheint auch für Länder attraktiv zu sein, die in den letzten Jahrzehnten einen enormen Abbau der industriellen Produktion hin zum Dienstleistungssektor zugelassen haben. Additive Fertigungstechnologien werden als Schlüssel zur Re-Industrialisierung von Volkswirtschaften erkannt und wahrgenommen.

In seiner Rede zur Lage der Nation im Februar 2013 nannte der ehemalige US-Präsident Barack Obama die additive Fertigung als Grundlage für ein neues Wachstum der US-Produktion. Das Weiße Haus hat insgesamt eine Milliarde US-Dollar an Fördermitteln bereitgestellt und ein Netzwerk aus Förderinstitutionen für die amerikanische Wirtschaft etabliert. Mit dem Forschungsprogramm Horizon 2020 will die Europäische Kommission den Ausbau additiver Fertigung in Europa unterstützen und durch Innovationen in diesem Gebiet stärken. Während US-amerikanische Unternehmen vor allem den Bereich der Extrusionsverfahren und Filamentdrucker bestimmen, werden die für die industrielle Produktion im Automobil- und Luftfahrtbereich wichtigen Metallsysteme weitgehend von den deutschen Anlagenherstellern wie EOS, SLM Solutions und Trumpf bestimmt. Die Übernahme

des schwedischen Anlagenherstellers Arcam und des deutschen Technologieträgers Laser Concept durch den US-amerikanischen Triebwerkshersteller GE Aviation im Jahr 2016 zeigt, welche hohe Bedeutung die additive Produktion für die USA mittlerweile einnimmt.

Doch nicht nur in der westlichen Welt wird eine stärkere Verwendung additiver Fertigungsprozesse angestrebt, auch asiatische Länder bringen sich durch die Bereitstellung von Fördermitteln in Stellung. In China und Singapur stehen dreistellige Millionenbeträge bereit, die die dortige Industrie auf den Wandlungsprozess in ein Zeitalter des Internets der Dinge vorbereiten sollen. China geht bereits von einem Umsatz von 1,12 Milliarden US-Dollar aus, der im Jahr 2016 im Markt rund um 3D-Drucker und die additive Produktion erwirtschaftet wurde. Das China Industry Information Institute hat für das Jahr 2020 eine Größenordnung des chinesischen AM-Marktes in Höhe von 7,68 Milliarden US-Dollar prognostiziert, was etwa ein Drittel des weltweiten Gesamtmarktes ausmachen würde.

Noch ist der Markt rund um die generative Fertigung überschaubar. Dass es einen Wandlungsprozess hin zu einer stärkeren Verwendung additiver Produktionstechnologien geben wird, ist für einige Anwendungsgebiete und Industriebranchen unbestritten. Die Geschwindigkeit des Wandlungsprozesses wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Vor allem der meist notwendige Aufwand zur Nachbehandlung additiv hergestellter Bauteile macht noch große Entwicklungsanstrengungen notwendig. Doch immer mehr Anlagenhersteller legen die Verfahren und ihre Materiallogistik für die Massenproduktion aus. Für welche Produkte und Anwendungsfelder sich die additive Fertigung am besten eignen wird, ist derzeit Gegenstand intensiver Diskussionen. Ob wir dem Wandel im Nachhinein tatsächlich den Charakter einer industriellen Revolution zuschreiben, bleibt abzuwarten. Die Entwicklungen am Markt in den letzten fünf Jahren lassen jedoch ein großes Potenzial vor allem für die deutschen und auch die hessischen Unternehmen vermuten. Daher werden in den folgenden Kapiteln die wesentlichen technologischen Rahmenbedingungen additiver Fertigungsprozesse und ihre Potenziale für die unterschiedlichen industriellen Branchen näher beschrieben.

2. ADDITIVE TECHNOLOGIEN UND FERTIGUNGSVERFAHREN



In der Science-Fiction-Saga Raumschiff Enterprise bezeichnete der ‚Replikator‘ eine Anlage, mit der aus einzelnen Atomen ganze Bauteile und Waffen, Speisen und Getränke scheinbar beliebig zusammengesetzt werden konnten. Marshall Burns nannte seine Idee von der digitalen Heimfabrik 1987 ‚Fabber‘, kleine dezentrale Fabrikationsanlagen, mit denen die Vision von der Produktion von Einzelteilen möglich werden sollte. Seitdem sind über 20 Jahre vergangen und durch die Weiterentwicklung von Produktionstechnologie, Software und Materialien wird das Zukunftsszenario immer realistischer (Peters 2011). Die Grundlage für die Entwicklung bilden so

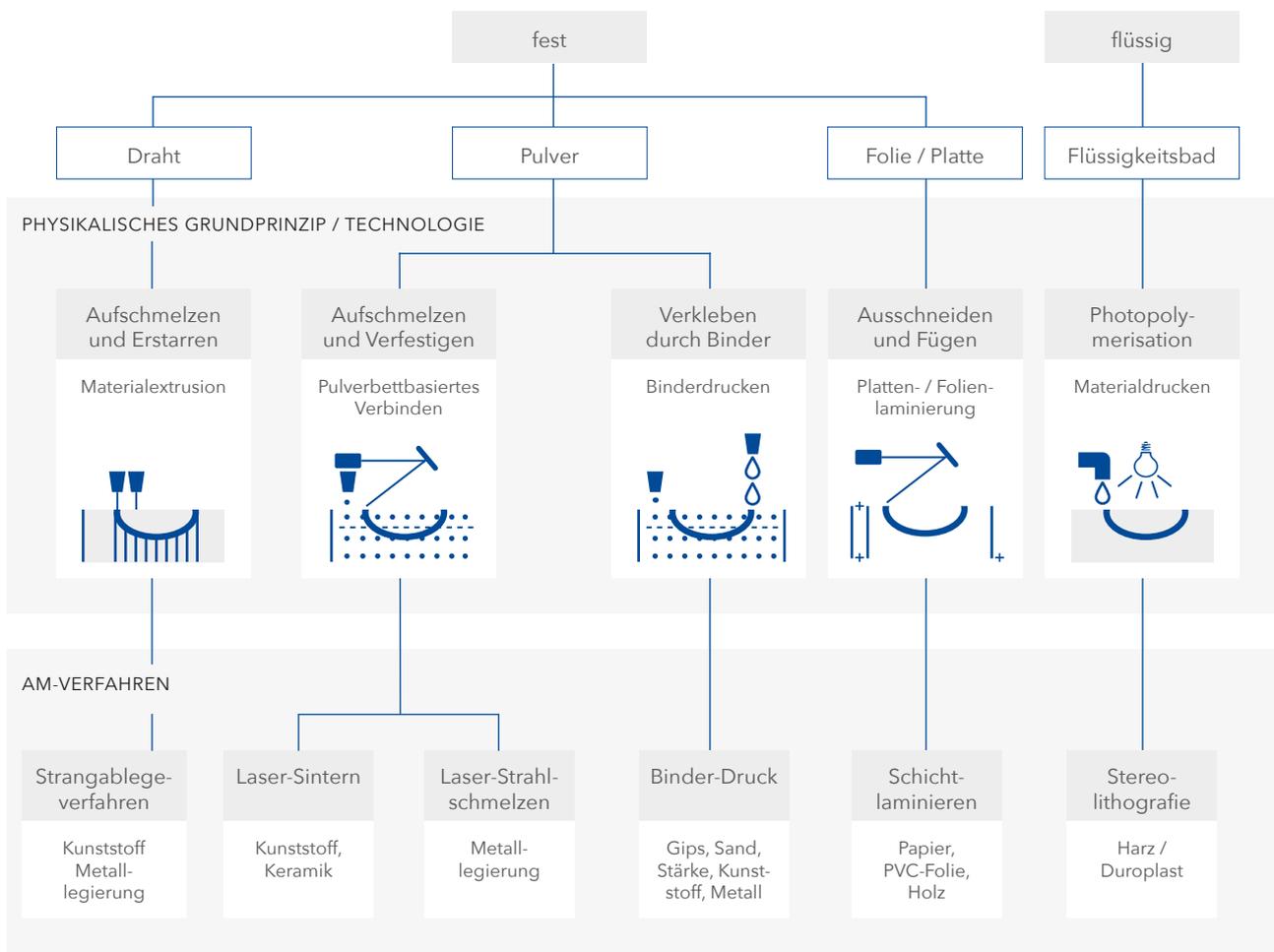
genannte additive Fertigungsprinzipien, die, anders als bei konventionellen Produktionsprozessen üblich, nicht Material abnehmen (wie beim Drehen, Bohren, Sägen, Fräsen) oder Werkstoffe umformen (wie beim Biegen, Ziehen), sondern aufbauen beziehungsweise generieren. In der Fachliteratur haben sich daher die Bezeichnungen additive beziehungsweise generative Fertigungsverfahren etabliert. Aufgrund der großen steigenden Nutzung und Kommerzialisierung bis in den Consumer-Bereich hat sich mittlerweile die Bezeichnung ‚3D-Druck‘ als Überbegriff für die unterschiedlichen Verfahrensprinzipien durchgesetzt.

2.1 GRUNDPRINZIPIEN UND VERFAHREN

Die heute bekannten additiven Herstellungsverfahren und Anlagentypen lassen sich hinsichtlich der verwendeten Materialien in fünf generative Fertigungsprinzipien unterteilen. Dabei geht man von unterschiedlichen Halbzeugen mit verschiedenen Ausgangsstoffen und Wirkprinzipien

aus, die den schichtweisen Aufbau der Bauteile bewirken. So kann die Vielzahl der heute genutzten Anlagen in die Verfahrensgruppen Stereolithografie, Pulverbettverfahren, Binder-Druck, Strangablage- beziehungsweise Schichtlaminatverfahren eingeteilt werden.

Klassifizierung additiver Fertigungsverfahren



Einteilung nach Professor Dr.-Ing. R. Anderl, Technische Universität Darmstadt, September 2017

Eine Auswahl der einzelnen Technologien erfolgt in aller Regel hinsichtlich der verwendbaren Werkstoffe, der realisierbaren Genauigkeit, der möglichen mechanischen Qualität, des maximalen Anlagenbauraums sowie des Kostenrahmens. Aufgrund der aktuellen Dynamik im Markt ändern sich die Rahmenbedingungen ständig.

2.1.1 Stereolithografie (SL oder SLA)

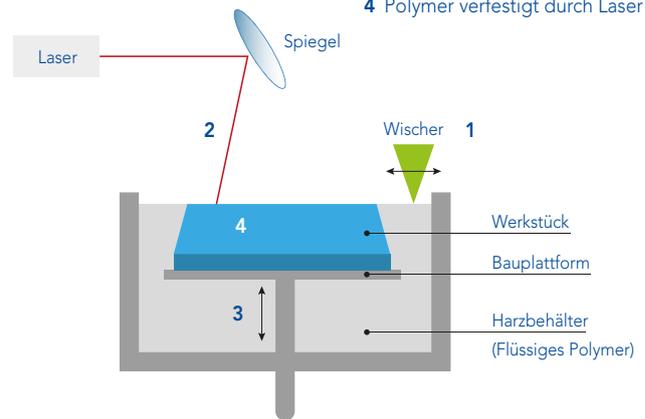
Die Stereolithografie wurde Anfang der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts an der University of Texas in Austin entwickelt und gilt als ältestes additives Verfahrensprinzip. Ende 1987 hat die Firma 3D-Systems Inc. erstmals eine Anlage präsentiert und kommerzialisiert sie seitdem. Bereits im Jahr 1984 wurde das Stereolithografieverfahren von Chuck Hall zum Patent angemeldet. Mit der Stereolithografie werden aktuell die höchsten Genauigkeiten erzielt. Sie ist daher die wichtigste Technik zur Erstellung von Urmodellen für den Fein-, Polyamid- und Vakuumguss. 2012 brachte FormLabs die erste SL Desktop-Anlage auf den Markt.

Verfahrensprinzip

Auf Basis von 3D-CAD-Daten entstehen bei der Stereolithografie Bauteilgeometrien durch lokales Aushärten eines lichtempfindlichen Fotopolymers mit Hilfe eines Laserstrahls. Zunächst wird Kunstharz in ein Harzbad eingelassen, in dem die Bauteilplattform jeweils um eine Schichtdicke (in der Regel zwischen 50 und 100 Mikrometer) unterhalb der Oberfläche versenkt wird. Durch zeilen- beziehungsweise schichtweises Belichten der Formteilgeometrie mit dem Laser härtet das Fotopolymer aus. Es entsteht die erste Schicht des gewünschten Bauteils. In der Abfolge wird die Bauteilplattform um eine weitere Schichtdicke nach unten gefahren. 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 und die gewünschte Bauteilhöhe erreicht ist. Bei einigen neuen Anlagen fährt das Bauteil im Prozess nicht mit der Bauplattform nach unten, sondern bewegt sich langsam nach oben aus dem Harzbad.

Um das Absinken von überhängenden Schichten im Harzbad zu verhindern und die Geometrien zu stabilisieren, werden dünne Stützstrukturen benötigt, die nach der Entnahme von der Bauteilplattform entfernt werden. Zur vollständigen Aushärtung des Materials werden Stereolithografiebauteile abschließend unter Einfluss von UV-Licht gelagert. Alternativ zum Laser arbeiten einige Anlagen mit UV-Licht-emittierenden Lampen und einer Maske. Die Maske ist lediglich an den Stellen durchlässig für UV-Licht, an denen das Harz aushärten soll. Beim Arbeiten mit Masken wird auf die aufwendige Spiegeleinrichtung zur Steuerung des Laserstrahls verzichtet werden.

- 1 Wischer verteilt Polymer
- 2 Laser fährt Schnittfläche ab
- 3 Bauplattform senkt sich
- 4 Polymer verfestigt durch Laser



Verfahrensprinzip der Stereolithografie

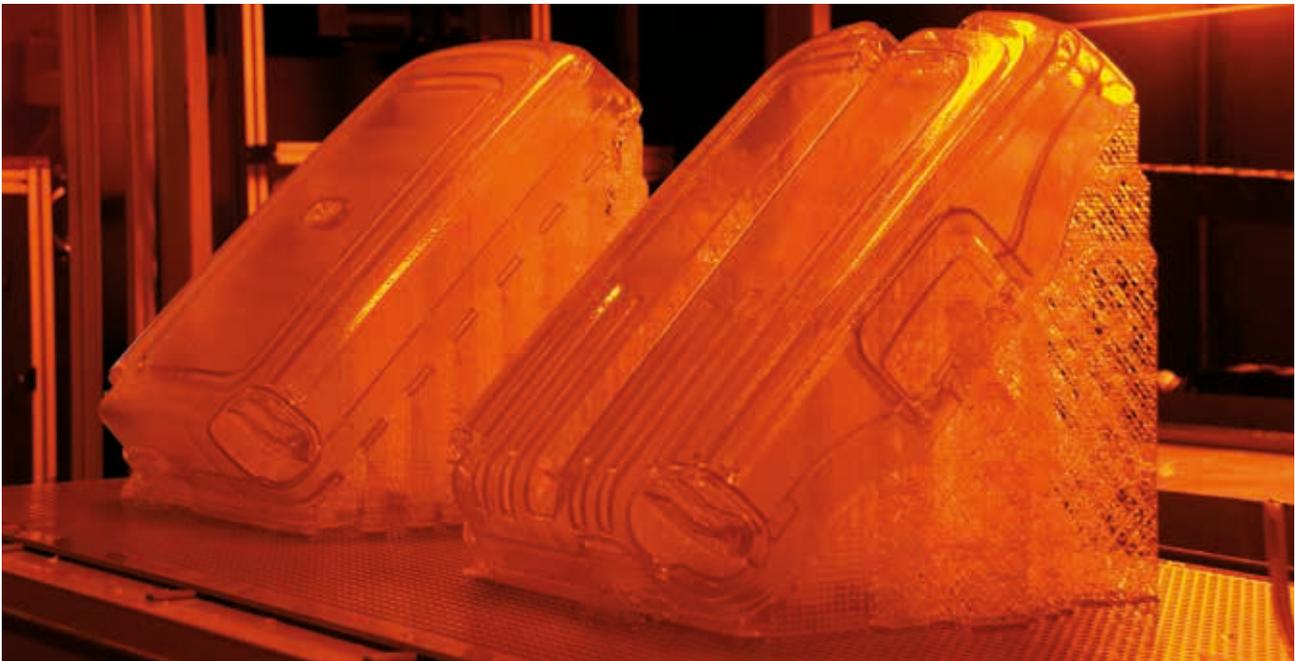
Materialien

Bei Anlagentypen der Stereolithografie können ausschließlich flüssige Fotopolymere wie Epoxid- oder Acrylharze (seltener auf Vinylbasis) verarbeitet werden. Nach der Aushärtung weisen diese eine hinreichende Stabilität und Temperaturbeständigkeit zwischen 50-60 Grad Celsius auf. Mittlerweile sind unterschiedliche Harzsysteme mit transparenten, blickdichten, flexiblen, dehnbaren, hitzebeständigen und biokompatiblen Eigenschaften am Markt erhältlich.

Ein großer Nachteil der Verfahrenstechnologie ist, dass in der klassischen Ausführung samt Harzbad keine unterschiedlichen Materialien in einem Arbeitsschritt verwendet werden können. Auch stellen Harzsysteme in flüssiger Form eine nicht unerhebliche Belastung für die Umwelt dar und sind zudem nicht unbegrenzt haltbar. Bei der Weiterentwicklung der Harze wird vor allem an der Verbesserung der Wärmestabilität gearbeitet.

Bauteilgrößen, Genauigkeit, Nachbearbeitung

Mit Hilfe der Stereolithografie können die höchsten Genauigkeiten bei additiven Fertigungsprozessen erzielt werden. Diese resultieren insbesondere aus den kleinen Schichtstärken mit einer Detailauflösung von 0,01 bis 0,02 Millimeter. Die Bauteile weisen heute sehr gute Oberflächen auf, sie sind glatt und der Schichtenaufbau ist nicht mehr zu erkennen. Standardanlagen haben einen Bauraum zwischen einer Größe von 250 x 250 x 250 Millimeter (LxBxH) und 1000 x 800 x 500 Millimeter. Bei einem Bauraum von 2100 x 700 x 800 Millimeter sprechen die Hersteller von einer Mammut-Stereolithografieanlage. Größere Bauteile können aus mehreren kleineren zusammengesetzt werden. Eine anschließende Oberflächenbehandlung durch Lackieren, Streichen oder Metallisieren ist üblich, wodurch allerdings die Semitransparenz des Materials verschwindet. Die Oberflächenqualität kann durch anschließendes Polieren oder zerspanende Bearbeitung weiter verbessert werden.



Samsonite S'cure Prototyp in Mammut-Stereolithografieanlage
(Quelle: Materialise)

Anwendung

Die Stereolithografie hat eine große Bedeutung für den Modellbau zur Bereitstellung von Anschauungsobjekten. Durch die sehr guten Qualitäten eignen sich die Bauteile auch für den Einsatz als Funktionsprototypen oder als Urmodelle für den Fein- und Vakuumguss. Durch die geringe Wärmestabilität ist der direkte Gebrauch von Stereolithografie-Bauteilen jedoch meist nicht möglich. Mittlerweile können Verfahrensvarianten auch zur Erzeugung von Nano- und Mikrostrukturen eingesetzt werden. Biokompatible Harzsysteme finden zunehmend Verwendung im Dentalbereich und in der Medizintechnik.

Wirtschaftlichkeit

Aufgrund ihrer Historie ist die Stereolithografie die am häufigsten eingesetzte additive Verfahrenstechnologie. Die Preise für gängige Stereolithografie-Anlagen sind in den letzten Jahren gefallen. Sie liegen aktuell aber immer noch bei über 50.000 Euro. Daher haben sich viele Dienstleister am Markt etabliert. Desktop-Anlagen und Bausätze mit geringerer Präzision und geringerem Bauraum sind seit 2012 ab 4.000 Euro erhältlich. Das Material ist allerdings viermal teurer als bei Extrusionsanlagen wie FLM (Fused Layer Modeling; siehe Kapitel 2.1.3). Da nach dem Fertigungsprozess zudem Überschuss im Bauraum bleibt, muss mehr Verbrauchsmaterial als Bauteilvolumen einkalkuliert werden.

Besondere Verfahren und Anlagentypen

PolyJet-Modeling (PJM)

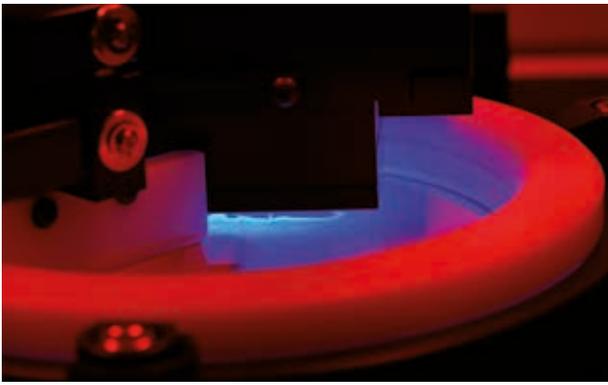
Die Polyjet-Technologie (auch bekannt als Multi Jet Modelling MJM) ist vergleichbar mit dem Inkjet-Druck. Mit einem Druckkopf wird ein flüssiges Fotopolymer schichtweise auf der Bauteilplattform aufgetragen und durch UV-Licht direkt verfestigt. Das Harzbad kann hier entfallen, allerdings müssen zur Realisierung von Überhängen Stützstrukturen mitgedruckt werden. Mit dem Polyjet-Modeling werden sehr hohe Genauigkeiten von 16 Mikrometer in z- und 42 Mikrometer in x- und y-Richtung erzielt. Es ist zudem die einzige Anlagentechnologie, mit der drei verschiedene Werkstoffe in einem Prozess zur Realisierung von Multimaterialanwendungen (zum Beispiel von Hart-Weich-Verbindungen) verarbeitet werden können.

Digital Light Processing (DLP)

Als weitere Verfahrensvariante der Stereolithografie wird beim Digital Light Processing mit UV-Licht gearbeitet, um das Fotopolymer schichtweise auszuhärten. Das Licht trifft dabei zunächst flächig auf einen Mikrochip, in dem viele bewegliche Mikrospiegel integriert sind. Die Strahlen werden so auf die auszuhärtenden Bereiche im Bauraum reflektiert und bewirken den sukzessiven Aufbau der Bauteilstruktur. DLP-Anlagen sind sehr kompakt, vergleichsweise preiswert und werden zum Beispiel bevorzugt im Schmuckbereich oder der Medizintechnik eingesetzt.

Mikro-Stereolithografie (MSL)

Mit einem Gewicht von lediglich anderthalb Kilogramm und den Maßen einer Milchverpackung wurde 2013 an der Technischen Universität Wien von Professor Jürgen Stampfl und seinem Team der weltweit kleinste Stereolithografie-Drucker entwickelt. Er arbeitet mit flüssigem Harz, welches mit LED-Licht von hoher Integrität punktuell ausgehärtet wird. Die Schichtdicken betragen 0,05 Millimeter. Auch an anderen Forschungseinrichtungen wird an der Mikro-Stereolithografie gearbeitet, da hier große Zukunftspotenziale gesehen werden.



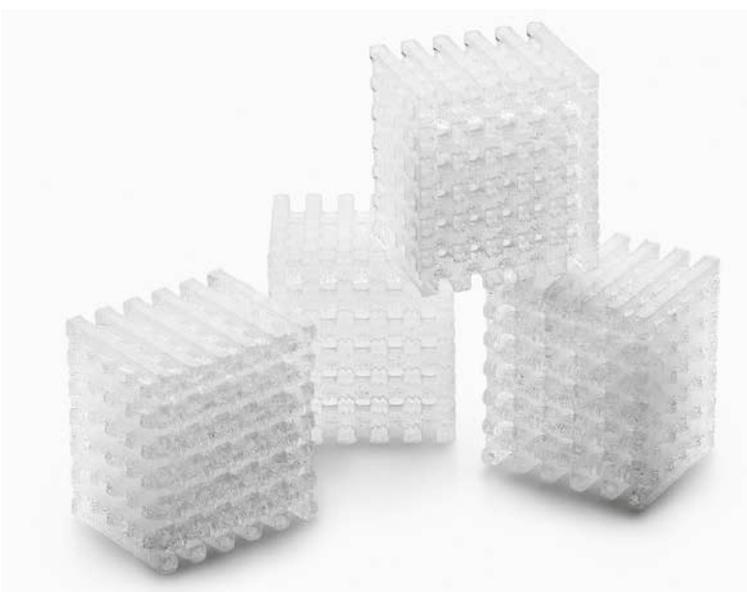
Belichtungsprozess beim 3D-Druck von Hochleistungskeramiken im LCM-Verfahren (Quelle: Lithoz)

Lithography-based Ceramic Manufacturing (LCM)

Das LCM-Verfahren zur additiven Herstellung von Hochleistungskeramiken wurde zwischen 2006 und 2010 an der TU Wien entwickelt und wird seit 2011 von der Lithoz GmbH als Ausgründung vermarktet. Es basiert auf der Belichtung eines fotosensitiven Harzes, in dem keramische Partikel enthalten sind. Schichtweise entsteht durch Aushärten des Harzes ein Kunststoff-Keramik-Rohling mit dem Photopolymer als Binder zwischen den Keramikpartikeln. Das Bindermaterial wird anschließend durch Pyrolyse entfernt und die keramischen Partikel thermisch versintert und fest miteinander verschmolzen. Beim Entbindern muss ein Schwindmaß eingerechnet werden. Im Anschluss weisen die Bauteile eine Dichte von 99,4 Prozent auf.

Silikondruck

Im Jahr 2016 hat der Chemiekonzern Wacker erstmals eine Technologie für den schichtweisen Aufbau von Bauteilen aus Silikonelastomeren vorgestellt. Dies war wegen der hohen Viskosität des Materials bis dahin nicht möglich. Beim so genannten Drop-on-Demand-Jetting wird das Material mit einem Druckerkopf auf eine Bauplattform tröpfchenweise aufgetragen und anschließend unter UV-Strahlung vulkanisiert. Schichtweise entstehen homogene Teilegeometrien mit glatten Oberflächen, die vergleichbare technische Qualitäten aufweisen wie Standard-Silikonteile beim Spritzguss. Bei der Festigkeit wird 85-90 Prozent des Wertes konventioneller Verfahren erreicht. Hohlräume und Überhänge können mit wasserlöslichen Stützmaterialien realisiert werden.



12 ACEO 3D-Silikondruck (Quelle: Wacker)

Continuous Liquid Interface Production (CLIP)

Im Frühjahr 2015 wurde in den USA eine neue additive Drucktechnologie auf Basis der Photopolymerisation vorgestellt, die 25 bis 100 Mal schneller sein soll als die konventionellen Verfahren und keine sichtbaren Schichtstrukturen hinterlässt. Der additive Prozess findet in einem Harzbecken statt, dessen Boden aus einer licht- und sauerstoffdurchlässigen Membran besteht. Ein ultravioletter Lichtstrahl beleuchtet den gewünschten Querschnitt des Objekts von unten durch den Beckenboden auf einer Plattform, die langsam, aber kontinuierlich aus dem Harzbad nach oben gezogen wird. Die Zuführung von Sauerstoff verhindert die Aushärtung der gesamten Fläche des Bauraums. Eine eigens entwickelte Software steuert den ganzen Prozess.



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

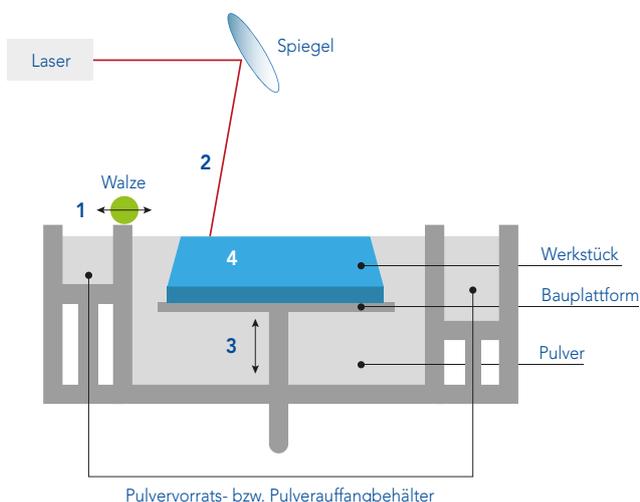
Gel Dispensing Printing (GDP)

GDP ist ein gelbasiertes Verfahrensprinzip, das zur Realisierung besonders großer Kunststoffbauteile von einem israelischen Anlagenbauer entwickelt wurde. Mithilfe eines Extruders wird ein hochviskoses Gel auf Acrylatbasis schichtweise aufgetragen und unter Einfluss von UV-Licht ausgehärtet. Die Lichtquelle befindet sich direkt am Druckkopf. Die Anlage hat einen Bauraum von 1,17 x 1,5 x 1,8 Meter und erreicht eine Aufbaurrate von 0,33 Meter pro Stunde in z-Richtung bei einem Durchsatz von bis zu zwei Kilogramm pro Stunde.

2.1.2 Pulverbettverfahren

Aufgrund von erzielbaren Qualitäten nahe der vom Serienwerkstoff zählt das Selektive Lasersintern (SLS) zum wichtigsten Pulverbettverfahren für industrielle Anwendungen. Es wurde Mitte der 80er Jahre an der University of Texas von Joe Beaman und Carl Deckard entwickelt. Beim Lasersintern wird mit pulverförmigen Ausgangsstoffen gearbeitet, die unter Einfluss eines Lasers aufgeschmolzen werden. Lange wurde es vor allem für den Prototypen- und Werkzeugbau eingesetzt. Aktuell zählt es zu den bedeutendsten additiven Produktionsverfahren für die direkte Fertigung von Bauteilen (Direct Digital Manufacturing). Anfang 2014 sind einige grundlegende Patente für das Selektive Lasersintern ausgelaufen. Es ist zu erwarten, dass das immer noch hohe Preisniveau für Bauteile und Anlagen in den nächsten Jahren sinken wird.

Für die Verarbeitung von Metallpulvern haben sich die Bezeichnungen des Selektiven Laser-Meltings (SLM) beziehungsweise Laserstrahlschmelzens (LBM) durchgesetzt. Durch den Einsatz mehrerer Laser in einer Anlage wird für die nächsten Jahre die 100 bis 1.000-fache Steigerung der Produktivität erwartet. Mit der pulverbasierten Multi-Jet Fusion-Großanlage ist der Hersteller für PC-Drucker Hewlett Packard im Jahr 2016 in den Markt des 3D-Produktendrucks eingestiegen. GE Additive hat auf der formnext 2017, der internationalen Messe für additive Fertigung, unter dem Namen A.T.L.A.S. eine SLM-Großraumanlage vorgestellt. Im Jahr 2016 sind die ersten Desktop SLS-Anlagen für einen Anschaffungspreis von 5.000 bis 10.000 Euro am Markt erschienen.



Prozess des Lasersinterns (Quelle: EOS)

Verfahrensprinzip

Das Selektive Lasersintern basiert auf dem lokalen Sintern und Verschmelzen pulverförmigen Materials unter Wärmeeinwirkung eines Laserstrahls ausgehend von 3D-CAD-Daten. 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 aufgeschmolzen und verfestigt dort zu einer Formteilschicht. Ist die Belichtung einer Bauteilschicht abgeschlossen, fährt das Druckbett um eine Schichtdicke nach unten, es wird erneut Materialpulver aufgetragen (Materialstärke zwischen 0,001 bis 0,2 Millimeter) und der Sinterprozess für die nächste Schichtstruktur wiederholt sich. 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. 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 erneut verwendet werden.

- 1 Walze verteilt Pulver
- 2 Laser fährt Schnittfläche ab
- 3 Bauplattform senkt sich
- 4 Pulver verschmilzt durch Laser

Materialien

Grundsätzlich eignet sich jeder schmelzbare und als Pulver herstellbare Werkstoff für das Selektive Lasersintern beziehungsweise Lasermelting. Kommerziell verfügbar sind zahlreiche Kunststoffe (zum Beispiel PA 22, PA 12, PS, PEEK, thermoplastische Elastomere), Keramiken, Metalllegierungen (Werkzeug- und Edelmetalle, Aluminium-, Titan-, Kobalt-Chrom-, Bronze-, Edelmetall-, Nickelbasislegierungen) und Quarz-Sand. Da die Pulver gleichmäßige Korngrößen aufweisen müssen, werden sie meist auf synthetischem Wege erzeugt. Beim Umgang mit Pulvermaterialien mit Korngrößen zwischen 20 und 100 Mikrometer greifen die bestehenden Rechtsvorschriften hinsichtlich Arbeitssicherheit. Fachleute wie beispielsweise Vertreter der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAuA weisen grundsätzlich auf die vorsichtige Handhabung der Pulver hin, da die ultrafeinen Partikel in die menschliche Lunge eindringen können. Daher empfiehlt sich die Verwendung eines Mundschutzes. Bei der Verarbeitung metallischer Pulver wird zur Vermeidung von Oxidation meist ein Schutzgas wie Stickstoff oder Argon im Bauraum verwendet.

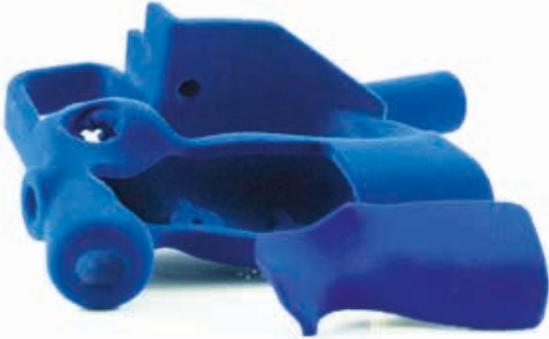
Forscher am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT) in Aachen ist es durch Integration eines Lasersystems mit 1.000 Watt Leistung in eine bestehende SLM-Anlage gelungen, Bauteile aus verschiedenen Kupferlegierungen mit einer Dichte von 99,9 Prozent generativ zu fertigen. Außerdem ermöglicht das Verfahren auch die Herstellung von Objekten aus hochfester Zirkonoxid- und Aluminiumoxid-Keramik. Durch die Dynamik im Markt wird das Portfolio druckfähiger Metallpulverlegierungen ständig erweitert. Heraeus etwa hat sich auf die Bereitstellung von Edelpulver für das Elektronenstrahlschmelzen (EBM) und Laserstrahlschmelzen (LBM) spezialisiert. Es werden Platingruppenmetalle (PGM), Gold- und Silberlegierungen, Refraktärmetalle, amorphe Metalle, Titan, Titanaluminide und kundenspezifische Legierungen angeboten. Hinzu kommen besondere Entwicklungen wie intermetallische Legierungen, bioresorbierbare Materialien, Gradientenwerkstoffe und amorphe Metalle (metallische Gläser). Der Hersteller stellt für jedes Metallpulver die optimalen Verarbeitungsparameter im Kontext zum additiven Fertigungsverfahren zur Verfügung.



Bauteilentnahme aus dem Pulverbett
(Quelle: Evonik Industries)

Bauteilgröße, Genauigkeit, Nachbearbeitung

Beim Lasersintern liegen die Bauräume der Anlagen derzeit zwischen $150 \times 200 \times 150$ Millimeter und $1100 \times 1100 \times 450$ Millimeter. Die großen Anlagen arbeiten dabei teilweise mit bis zu vier Lasern, um die Prozessdauer zu verkürzen. Die Aufbauraten für Metallsysteme liegt aktuell zwischen 2 und 100 Kubikzentimetern pro Stunde. An Anlagen mit bis zu acht Lasern wird derzeit gearbeitet. Aufgrund der Korngrößen der Pulver weisen lasergesinterte Bauteile raue Oberflächen auf. Die Genauigkeiten liegen standardmäßig bei $\pm 0,1$ Millimeter. Bei Metallbauteilen werden mittlerweile Werte von $\pm 0,02$ Millimeter erzielt. Die Schichtdicken können zwischen 1 bis 200 Mikrometern liegen. Übliche Schichtdicken bei Metallen wie Edel- und Werkzeugstahl sind 20 Mikrometer oder 40 Mikrometer, bei Aluminium beträgt sie 30 bis 50 Mikrometer. War noch bis vor einigen Jahren für die Realisierung hochdichter Metallbauteile eine Infiltration mit niedrigschmelzenden Metallen erforderlich, werden heute beim Laserstrahlschmelzen (LBM) hochdichte Bauteile ($>99,5$ Prozent) mit sehr guten mechanischen Qualitäten erzielt. Die Festigkeiten liegen teilweise sogar über denen konventionell produzierter Bauteile. Vor allem beim Laserstrahlschmelzen muss durch den thermischen Einfluss des Lasers je nach Bauteilgeometrie ein nicht unerheblicher Verzug einkalkuliert werden. Die rauen Oberflächen können anschließend mit Hilfe von abtragenden Verfahren, wie zum Beispiel Fräsen, bis zum Hochglanz geschliffen werden. Vor dem Start eines neuen LBM-Prozesses muss die Bauteilplattform in der Regel plangefräst werden.



Lasergesinterte Griffe der Nikon Metrology Scanner mit Beflockung (Quelle: Materialise)

Anwendung

Bis vor einigen Jahren waren SLS- beziehungsweise SLM-Bauteile vornehmlich als Funktionsprototypen im Einsatz. Heute werden Pulverbettverfahren für die direkte Herstellung individualisierter Bauteile und von Kleinserien verwendet. Typische Anwendungsbereiche sind die Medizintechnik (zum Beispiel Zahninlays, Implantate, Hörgeräte), der Werkzeug- und Formenbau (zum Beispiel Leichtmetall-Druckguss und Feinguss), der Maschinenbau, die Luftfahrt und die Ersatzteilherstellung im Fahrzeugbau. Im Design- und Schmuckbereich findet das Lasersintern seit knapp einem Jahrzehnt ebenfalls Verwendung. GE Aviation hat in Alabama ein Werk mit additiven Produktionsanlagen aufgebaut, die Komponenten für Flugzeugtriebwerke herstellen. Das Unternehmen hat im Jahr 2016 die beiden europäischen Anlagenhersteller Arcam und Laser Concept übernommen.

Wirtschaftlichkeit

Aufgrund der hohen Anlagenkosten (Durchschnittspreis einer Industrieanlage: 80.000 US-Dollar; Horsch, Florian: 3D-Druck für alle – Der Do-it-yourself-Guide. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2014) muss die Anwendung der Pulverbettverfahren gut kalkuliert werden. In einem Arbeitsschritt werden in aller Regel gleichzeitig mehrere Bauteilgeometrien parallel gefertigt und die Bauplattform wird dicht bepackt, damit sich der Betrieb einer Anlage finanziell rechnet. Die Kosten für lasergesinterte Bauteile bewegen sich je nach verwendetem Material in einer Größenordnung von wenigen 100 bis hin zu einigen 1.000 Euro. Damit liegen die Kosten über denen anderer Verfahren, was die Verwendung im kleingewerblichen Kontext vielfach noch ausschließt. Mit steigenden Aufbauraten werden die Kosten in der Zukunft sinken. Dienstleister sind weit verbreitet.

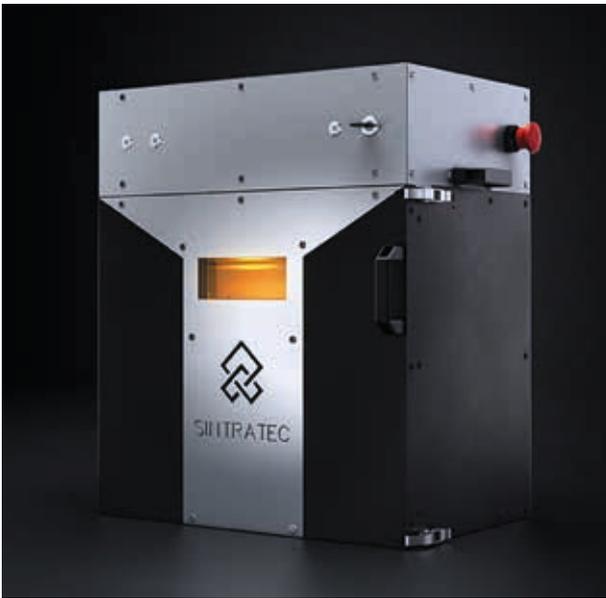
Besondere Verfahren und Anlagentypen

Elektronenstrahlschmelzen (EBM)

Zur Erzielung höherer Leistung (3-10 Kilowatt gegenüber 250-1.000 Watt bei SLS/SLM) wird in einer Verfahrensvariante anstelle eines Lasers ein Elektronenstrahl verwendet. Damit lassen sich selbst hochfeste Stähle bei verkürzter Prozessdauer verarbeiten. Durch das Elektronenstrahlschmelzen wird die direkte Herstellung metallischer Bauteile möglich. Daher vermarktet der schwedische Anlagenhersteller Arcam AB seine EBM-Anlagen unter dem Markennamen ‚CAD-to-Metal‘.



SLS Verlängerungskabel ‚Doppelhelix CABLE‘ (Quelle: CIRP, Design: Yusuke Goto)



Desktop SLS-Anlage (Quelle: Sintratec)

Desktop SLS

Nach dem Auslaufen grundlegender Patente für das Selektive Lasersintern sind neue Anlagenhersteller am Markt erschienen. Dabei wird unter anderem auf den Markt für kleine und preiswerte Desktop-Lösungen fokussiert. Eine der ersten Mini-Lasersinteranlagen wurde Ende 2015 vorgestellt und stammt vom polnischen Start-up „SinterIT“ aus Krakau. Die Anlage hat eine Größe von 66 × 62 × 40 Zentimeter, wiegt lediglich 40 Kilogramm und weist einen maximalen Bauraum von 150 × 200 × 150 Millimeter auf. Bei einer Leistung der Laserdiode von 5 Watt können Schichtdicken zwischen 0,075 Millimeter und 0,175 Millimeter erzielt werden. Die Unternehmen bieten mit dem schwarzen Polyamidpulver (PA12) ein Material an, mit dem sich gummiartige, flexible Bauteile umsetzen lassen. Weitere Anbieter günstiger SLS-Anlagen sind das Schweizer Unternehmen Sintratec sowie der italienische Hersteller Sharebot.

HP Multi Jet Fusion

Die Pulverbetttechnologie von Hewlett Packard ist eine Großanlage (Bauraum: 406 x 406 x 305 Millimeter) für den additiven Produktdruck, die im Jahr 2016 präsentiert wurde. Sie arbeitet nicht mit einem Laser, sondern einer Infrarot-Energiequelle. Das Kunststoffpulver wird schichtweise aufgetragen, mit Hilfe eines Inkjet-Druckkopfs werden zwei Binderflüssigkeiten mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit eingebracht. Die eine ist thermisch besonders leitfähig und verstärkt die Schmelzwirkung der Partikel in den Bereichen des gewünschten Bauteils. Die andere Flüssigkeit wird an den Rändern der Teilegeometrie aufgetragen und wirkt als thermische Blockschicht. Ergebnis sind scharfe Kanten, glatte Oberflächen und ein sauberes Druckergebnis. Schichtdicken von 70-80 Mikrometern sind möglich. Die Anlage ist zunächst für die Verwendung eines PA 12-Pulvers mit feiner Körnung von Evonik optimiert. Mit einer Druckgeschwindigkeit von 4.500 Kubikzentimeter pro Stunde und einer möglichen Auflösung von 1.200 dpi steht die Anlage im Bereich der Kleinserienfertigung in Konkurrenz zum Kunststoffspritzguss.

Multimaterial-Laserstrahlschmelzen

Bislang kann in Pulverbettverfahren lediglich ein Werkstoff verarbeitet werden. Mit Blick auf die Ausweitung der additiven Produktion wäre die generative Herstellung von Komposit-Strukturen beziehungsweise die Kombinationen verschiedener Werkstoffqualitäten in metallischen Hochleistungsbauteilen von großem Interesse. Wissenschaftler am Fraunhofer IGCV forschen seit über drei Jahren an der simultanen Verarbeitung von zwei Metalllegierungen in einem Aufbauprozess durch Laserstrahlschmelzen (LBM). Im Sommer 2017 ist mit einem Angusstützen das erste 3D-gedruckte Multimaterialbauteil vorgestellt worden. Der Erfolg ist Resultat einer neuartigen Auftragsmethode einer LBM-Anlage, der soft- und hardwaretechnisch integriert wurde. Dabei konnte ein 3D-Multimaterialbauteil aus dem Werkzeugstahl 1.2709 und einer Kupfer-Chrom-Zirkonium-Legierung (CCZ) additiv erzeugt werden.

Laser-Pulver-Auftragsschweißen

Das Laserauftragsschweißen (LMD) ist ein seit Jahren etabliertes Verfahren zum Aufbringen metallischer Schichten in großen Dicken als Verschleißschutzschicht oder zur Reparatur eines Bauteils. Es ist kein Pulverbettverfahren, wird aber im Kontext des metallischen 3D-Produktendrucks heute genutzt. Dabei wird Metallpulver in einen Laserstrahl geblasen. Die hohe Energieleistung des Laserstrahls schmilzt das Pulver auf und verbindet es metallurgisch zu einer festen Schicht. Auf der Basis von 3D-CAD-Daten können 3D-Metallstrukturen entstehen. Die Bauteilgröße ist beim Laser-Pulver-Auftragsschweißen nicht limitiert. Die kleinste Strukturauflösung beträgt 30 Mikrometer. Es können Stähle, Titan-, Aluminium-, Nickel- und Kobalt-Legierungen verarbeitet werden. In der Entwicklung befinden sich intermetallische Titan-Aluminide und Ni-Basis-Hochtemperaturwerkstoffe.

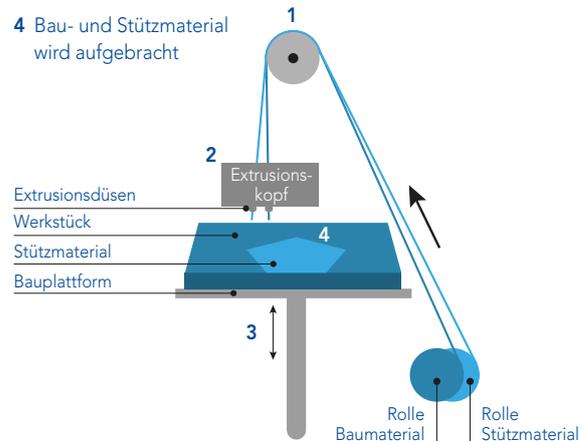
2.1.3 Strangablegeverfahren

Das Auslaufen einiger wesentlicher Schutzrechte im Jahr 2009 hat für das so genannte Strangablegeverfahren einen Entwicklungsschub bewirkt. Mittlerweile zählen Anlagen dieses Verfahrensprinzips zu den bedeutendsten Techniken für die Verwendung in Kreativberufen und in privaten Kontexten. Gründe dafür sind der wenig komplexe Aufbau der Anlagen, das einfache Handling und die Bandbreite der zur Verfügung stehenden Materialien. Auch die guten mechanischen Qualitäten spielen eine Rolle. 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 genannte 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 besonders großer Bauteile in hoher Geschwindigkeit möglich. Die Cincinnati Inc. (USA) betreibt eine BAAM-Anlage (Big Area Additive Manufacturing) mit einem Bauraum von 6 x 2,3 x 1,8 Meter.



Strangablegeverfahren im Betrieb
(Quelle: Delta Tower, Thorsten Franck)

- 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

Verfahrensprinzip

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 (zum Beispiel Freeformer) 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 um den Bruchteil eines Millimeters abgesenkt, die Schichtdicke durch Glättung mit der Düse bestimmt. Übliche Schichtdicken liegen zwischen 0,025 und 1 Millimeter. Hinterschnitte und Hohlräume können mit diesem Verfahrensprinzip allerdings nur bedingt realisiert werden. Daher sind für die Umsetzung steil ausragender Bauteilgeometrien feine Stützkonstruktionen erforderlich. Bei neuen Anlagentypen wird das Supportmaterial gleich auf einer zweiten Spule mitgeführt und aufgetragen. Nach Beendigung des Drucks muss die Stützkonstruktion entfernt werden. Dafür ist die Verwendung eines wasser- oder laugenlöslichen Thermoplasts hilfreich.

Materialien

Lange Jahre waren die für das Fused Layer Modeling verwendbaren Materialien auf wenige thermoplastische Kunststoffe wie ABS, Polyester oder Polycarbonat beziehungsweise auf verschiedene Wachssorten begrenzt. Mit dem Aufkommen von Biokunststoffen kam PLA als neues Standardmaterial hinzu. Aufgrund der starken Verbreitung von Filamentdruckern in der Kreativwirtschaft und unter Designern hat der Markt mit neuen Materialien und Verbundwerkstoffen reagiert und damit dem

Wunsch nach vielfältigeren Gestaltungsmöglichkeiten entsprochen. Mittlerweile sind Filamente erhältlich, mit denen holzartige (zum Beispiel LAY-Wood), keramische (zum Beispiel LAY-Ceramic) oder sandsteinartige Oberflächen (zum Beispiel LAY-Brick) erzeugt werden können oder die elektrisch leitfähige, magnetische oder optische Eigenschaften haben. Auch für die Umsetzung von 3D-Membranen und porösen Filtern beziehungsweise biegsamen und gummiartigen Objekten sind auch solche Filamentlösungen am Markt erhältlich. Im Projekt BioFabNet werden seit Ende 2013 biobasierte Werkstofflösungen insbesondere für Drucker im Konsumentenbereich entwickelt. Außerdem befassen sich mehrere Wissenschaftler und Designer mit der Entwicklung von Filamentlösungen auf Basis von Abfallmaterialien und recycelten Wertstoffen. Im Herbst 2014 hat der US-Amerikaner Mark Forged aus Boston den weltweit ersten Carbonfaserfilament-Drucker vorgestellt. Im Jahr 2017 sind mehrere Hersteller von Metallfilamenten hinzugekommen, um die preisgünstige Herstellung von Metallbauteilen auch mit Hilfe von Filamentdruckern zu ermöglichen.



Lay-Wood Holzfilament (Quelle: ccproducts)

Bauteilgrößen, Genauigkeit, Nachbearbeitung

Die Größen auf dem Markt befindlicher Anlagen reichen von wenigen Quadratzentimetern bis hin zu mehr als einem Quadratmeter. Grundsätzlich ist die Verfahrenstechnologie nicht auf einen Bauraum begrenzt, da sich die Düse mit dem Filament auch mit einem Roboterarm bewegen ließe. Da in der Regel thermoplastische Kunststoffe zum Einsatz kommen, ist eine Nachbearbeitung aufwendig. ABS-Oberflächen können beispielsweise mit Aceton bedampft, angelöst und geglättet werden. Vor allem bei kleinen Bauteilen muss wegen des Düsendurchmessers eine Ungenauigkeit in z-Richtung einkalkuliert werden. Negativ auf die Bauteilqualität wirkt sich Verzug infolge unterschiedlich schneller Erstarrungsgeschwindigkeiten im gedruckten Teil aus. Außerdem kann es zum Lösen einzelner Schichten kommen.

Anwendung

Wurden additive Extrusionsanlagen vornehmlich zur Erstellung von Anschauungsmodellen genutzt, finden diese Einzug in die direkte Produktherstellung und den Privatbereich. Immer mehr Unternehmen steigen in den Markt für bürotaugliche Systeme ein. Durch die Entwicklung höherwertiger Materialien und Anlagen mit großem Bauraum erreicht die Nutzung derzeit Möbelindustrie und Interiordesign. Außerdem haben Baumärkte ihr Angebot um 3D-Drucker und Dienstleistungen für den kreativen Heimwerker erweitert.

Wirtschaftlichkeit

Die Preise für filamentbasierte Drucker sind seit der Erwerbsmöglichkeit von Bausätzen im Internet enorm gesunken. Mittlerweile können diese im Fachhandel für einen Preis von 500 bis 800 Euro bezogen werden. Minianlagen sind bereits für unter 200 Euro erhältlich. Allerdings werden mit den günstigen Anlagen keine hohen Genauigkeiten erzielt. Für höherwertige Systeme muss im Consumer-Bereich ein Anschaffungspreis von 1.500 bis 3.000 Euro und für die Industrie ein Preis von 10.000 Euro kalkuliert werden. Die Filamente werden je nach Sorte für 10 bis 50 Euro je Kilogramm in verschiedenen Farben angeboten.

Besondere Verfahren und Anlagentypen

BIG Fused Granular Fabrication (FGF)

Das Start-up BLB Industries aus Värnamo in Schweden hat im Jahr 2016 den ersten europäischen FGF-Großdrucker präsentiert, der Standardgranulat verarbeiten kann und Kunststoffteile in einem Bauraum mit einer Größe von 1,5 x 1,1 x 1,5 Meter und einem Durchsatz von 6 Kilogramm pro Stunde additiv produzieren kann. Die Anlage basiert auf dem Plattformgedanken und kann in Bezug auf die Größe angepasst werden. Als Maximalgröße geben die Entwickler 5 x 5 x 5 Meter und eine maximale Fertigungsleistung von 35 Kilogramm pro Stunde an.

Freeformer

Der Spritzgussanlagenhersteller Arburg ist mit dem so genannten Freeformer Ende 2013 in den Markt generativer Fertigung eingestiegen. Das Maschinenbauunternehmen war der erste Hersteller, der handelsübliches Material in Form von Standardgranulaten verwendet. Dieses wird in einem beheizten Plastifizierzylinder aufgeschmolzen

und als Kunststofftröpfchen aufgetragen. Der patentierte Düsenverschluss ermöglicht unter Verwendung hochfrequenter Piezotechnik ein schnelles Öffnen und Schließen für bis zu 200 Kunststofftröpfchen pro Sekunde und einen präzisen Materialauftrag. Unter Verwendung des Serienmaterials werden 70 bis 80 Prozent der Festigkeiten vergleichbarer Spritzgießbauteile erzielt. Der Freeformer hat einen Bauraum von 230 x 135 x 250 Millimeter. Mit einer zweiten Düse lassen sich auch Bauteile mit unterschiedlichen Kunststoffen (zum Beispiel Hart-Weich-Verbindungen) realisieren.

Hochleistungs-PEEK-Kunststofffilament

Das Start-up Apium Additive Technologies aus Karlsruhe macht mit seiner Anlage als erstes Unternehmen weltweit den Filamentdruck für Hochleistungspolymere wie PEEK (Polyetheretherketon) für industrielle Anwendungen möglich. Dies war aufgrund der besonderen Materialqualitäten vorher nicht möglich. Neben dem PEEK-Filament samt Druckanlage bietet Apium auch eine Filamentlösung mit Kohlenstofffasern an. Damit wird der Filamentdruck auch im Maschinenbau und in der Medizintechnik für hochfeste Bauteile angewendbar.



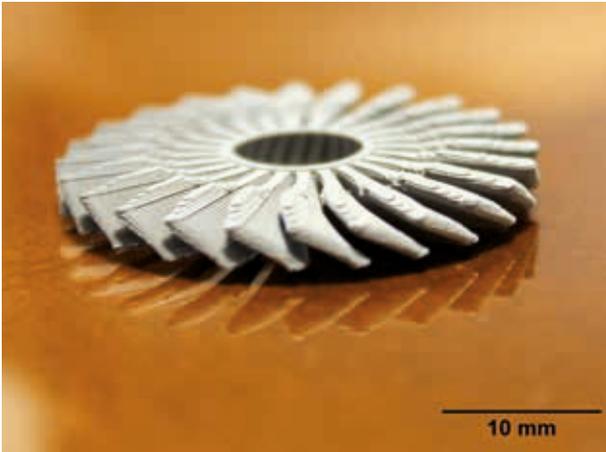
3D-gedrucktes Implantat aus PEEK
(Quelle: Apium Additive Technologies)



Faserverstärkter 3D-Druck (Quelle: Mark Forged)

Composite 3D-Printing

Das US-amerikanische Unternehmen Markforged hat Ende 2014 die weltweit erste FLM-Anlage präsentiert, mit der faserverstärkte Bauteile hergestellt werden können. Die Anlage arbeitet sowohl mit Carbon- als auch mit Glasfaserverstärkung und hat einen maximalen Bauraum von 320 x 154 x 132 Millimeter. Die Standardvariante hat einen Preis von 6.500 Euro. Nach Angaben des Entwicklers sollen die carbonfaserverstärkten Bauteile eine um 40 Prozent höhere Stabilität aufweisen als vergleichbare Bauteile aus ABS. Zudem sollen sie ein deutlich besseres Festigkeits-Gewichts-Verhältnis haben als solche aus 6061-T6 Aluminium.



Mit einem Metallfilament gedrucktes Bauteil
(Quelle: Fraunhofer IFAM Dresden)

Metallfilament

Die XERION Group entwickelt in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM aus Dresden derzeit ein Verfahren, um metallische Teile im Filamentdruck herstellen zu können. Das kunststoffbasierte Druckfilament wird dabei mit Metallpulvern angereichert; nach dem Druck werden die überschüssigen Kunststoffanteile thermisch ausgetrieben. Durch anschließendes Sintern des so genannten Grünlings bei höheren Temperaturen wird das Bauteil verfestigt und erhält die für Metalle typische Bauteildichte sowie Festigkeit. Dabei muss ein erhebliches Schrumpfmaß einkalkuliert werden. Das Besondere des Vorhabens ist es, den Drucker, das Ofensystem und eine mechanische Fräse in einer Unit zu platzieren. Alle drei Systeme erhalten eine gemeinsame Steuerung inklusive der Rezeptverwaltung.



Effekt beim Drucken mit retroreflektierendem Filament
(Quelle: Kai Parthy)

Reflect-o-Lay

Das von cc-Products entwickelte Druckfilament enthält Millionen kleinster reflektierender Pigmente. Mit ihm lässt sich der optische Effekt der Retroreflektion, den man zum Beispiel von Warnwesten aus dem Straßenverkehr kennt, auf 3D-gedruckte Objekte übertragen. Unter normalen Bedingungen erscheint das Material in seiner typischen grauen Farbe. Strahlt man es jedoch an, werden die Lichtstrahlen immer genau in die Richtung reflektiert, aus der sie kommen.

3D-Druckfilamente aus lokal produzierten Algen

Die beiden niederländischen Designer Eric Klarenbeek und Maartje Dros haben in den letzten sechs Jahren ein für den 3D-Druck nutzbares Biomaterial auf Basis von Algen entwickelt. Im Herstellungsprozess werden die Algen zunächst kultiviert, getrocknet und mit anderen natürlichen sowie lokal verfügbaren Zusatzstoffen und einem Biopolymer in ein druckbares Filament transformiert. Antrieb für diese Entwicklung war es, nicht nur eine Alternative zu den klassischen Kunststofffilamenten anzubieten. Vielmehr steht die CO₂-Bilanz im Vordergrund, denn Algen absorbieren CO₂ beim Wachstum aus der Atmosphäre.



3D-gedruckte Gefäße aus einem algenbasierten Druckfilament
(Quelle: Eric Klarenbeek und Maartje Dros)

Graphen-basierter FLM-Druck

Die Trendforscher von Frost & Sullivan erwarten den 3D-Druck mit Filamenten als nächsten großen Entwicklungssprung für den Markt der additiven Produktion. Graphen ist eine stabile Modifikation des Kohlenstoffs in zweidimensionaler Struktur, bei dem sich die Kohlenstoffatome ähnlich einer Bienenwabenstruktur anordnen. Es weist eine sehr hohe Steifigkeit auf und eignet sich als elektrischer Leiter. Mit Graphenfilamenten werden Anwendungspotenziale im Elektronikbereich und für druckbare Batteriesysteme erwartet.

Laser-Draht-Auftragsschweißen

Ein alternatives System zum Laser-Pulver-Auftragsschweißen arbeitet mit einem konventionellen Schweißdraht. Im Vergleich zum pulverbasierten Auftragsschweißen bietet das Arbeiten mit Schweißdraht Vorteile in Bezug auf die Gestaltung der Prozessführung, die Materialausnutzung, die Qualität der Oberflächen und die einfache Beschaffung des Ausgangsmaterials. Die kleinste Strukturauflösung beträgt derzeit 600 Mikrometer. Dabei können grundsätzlich alle in Drahtform verfügbaren Schweißzusätze verarbeitet werden. Im Sommer 2017 hat die Gefertec GmbH aus Berlin eine Großanlage für das Draht-Auftragsschweißen am Markt präsentiert. In dreiachsiger Bearbeitung können metallische Bauteile mit einem Volumen von bis zu 3 Kubikmeter und einer maximalen Masse von 3000 Kilogramm additiv erzeugt werden.



Großanlage zum additiven Draht-Auftragsschweißen
(Quelle: Gefertec GmbH, Berlin)

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. Aufgrund der Kostenstruktur kommen für diese Einsatzorte heute wohl eher Filamentdrucker in Frage. Wegen der Möglichkeit zum Einfärben der gedruckten Bauteile haben Binderdruck-Verfahren in den letzten Jahren eine Vielzahl von Einsatzzwecken für private Nutzer gefunden, zum Beispiel für die Herstellung menschlicher Abbilder.

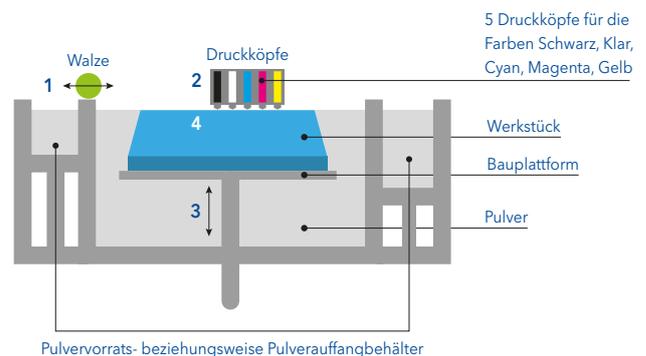


ColorJet-Druck - 3D-Druck-Anlage (Quelle: Materialise)

Verfahrensprinzip

Das Verfahrensprinzip ähnelt dem des Selektiven Lasersinterns und basiert auf dem Verkleben von Partikeln miteinander. Diese werden allerdings nicht wie beim SLS-Verfahren mit einem Laser aufgeschmolzen, sondern unter Einsatz eines Bindemittels örtlich verklebt. Hierzu kommt ein Druckkopf zum Einsatz, der von einer Steuerungseinheit schichtweise über das Pulverbett verfahren wird und die Klebesubstanz tröpfchenweise in die jeweils neu aufgetragene Pulverlage einbringt. Das Bindemittel dringt bis zur darunterliegenden Lage vor und verbindet die neue Pulverschicht mit der bereits gedruckten Geometrie. 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 wie beim Lasersintern keine Stützkonstruktionen benötigt. Zur Steigerung der mechanischen Belastbarkeit der gedruckten Bauteile können diese mit Harzen beziehungsweise Wachsen infiltriert werden.

- 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

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

Materialien

Standardmäßig werden beim Binder-Drucken Werkstoffe auf der Basis von Stärke oder Gips bzw. Sand und keramischen Verbundlösungen verwendet. Einige Anlagenhersteller bieten zusätzlich auch Pulver verschiedener Metalle für Anwendungen in der Zahnmedizin an oder haben Mischungen für industrielle Anwendungen und Gussformen im Programm. Beim Arbeiten mit Keramik- oder Metallpulvern erfolgt nach dem Druck des Objekts ein Sinterprozess im Brennofen. Durch anschließende Infiltration mit niedrig schmelzenden Metallen werden die Poren aufgefüllt und die Dichte auf bis zu 95 Prozent erhöht. Zur Verbesserung der Qualität konnte der Prozess für Metallpulver in Schichtstärken von lediglich 25-100 Mikrometer optimiert werden. Die Erzielung besonders hoher Festigkeiten ist mit dem heißisostatischen Pressen möglich.

Bauteilgrößen, Genauigkeit, Nachbearbeitung

Das Binder-Drucken zählt aufgrund der ausgereiften Inkjet-Druckköpfe zu den schnellsten additiven Verfahrensprinzipien. Mittlerweile sind Anlagen mit einem Bauraum von bis 4 x 2 x 1 Metern verfügbar (Anlagenhersteller: voxeljet). Es werden Genauigkeiten von 600 dpi erzielt. Aufgrund der Korngröße der verwendeten Pulver weisen gedruckte Bauteile allerdings stets eine raue Oberfläche mit sichtbaren Drucklinien auf. Diese können durch eine mechanische Nachbehandlung reduziert werden. Aktuelle Forschungsarbeiten zielen deshalb auf die Verbesserung der mechanischen Qualitäten gedruckter Bauteile ab. Durch Arbeiten am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF) in Darmstadt konnten neue Materialsysteme und druckbare Tinten so weit verbessert werden, dass beim dreidimensionalen Drucken ähnliche mechanische Festigkeiten wie beim Spritzgießen erzielt werden.

Anwendung

Bislang haben die meisten kleineren Anlagen mit der Möglichkeit zum Einfärben in über 16 Millionen Farben vor allem für die schnelle Visualisierung im Entwurfsprozess Anwendung gefunden. Aufgrund des leisen Fertigungsprozesses und geschlossenen Anlagenaufbaus ist das Verfahren für Büroumgebungen geeignet. Mit den großen Bauräumen erhalten Binder-Drucker Einzug in industrielle Anwendungsbereiche zum Beispiel zur Herstellung von Sandkernen für Gießereien. Die Drucker können in der Serienproduktion eingesetzt werden. Der Sanddruck wurde auch bereits zur Herstellung architektonischer Strukturen genutzt. Durch Binder-Druck erstellte und anschließend gesinterte Metall- und Keramikformen werden zum Beispiel im industriellen Formenbau genutzt.

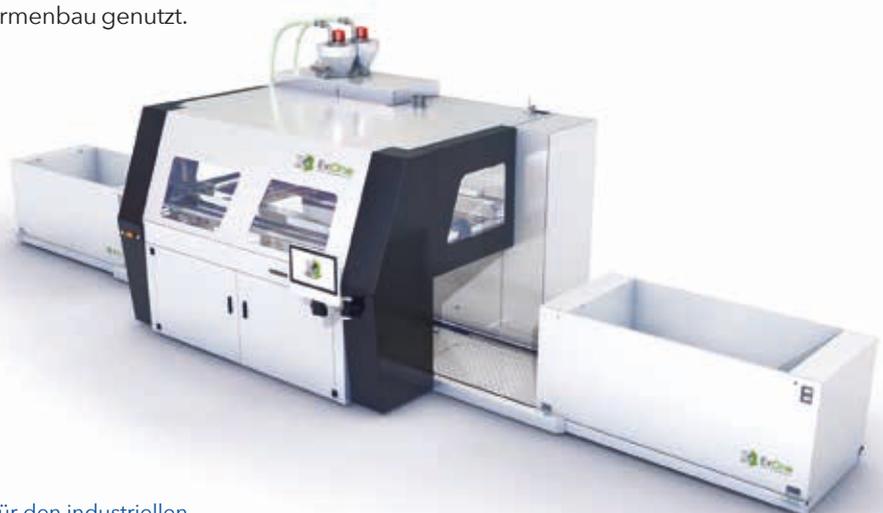
Wirtschaftlichkeit

Die Anlagenpreise bewegen sich zwischen knapp 20.000 Euro bis hin zu Werten im sechsstelligen Bereich. Die Nutzung im privaten oder kleingewerblichen Umfeld ist somit weitgehend ausgeschlossen. Es sind daher zahlreiche Dienstleister am Markt tätig, die die Umsetzung von Bauteilen zu realistischen Preisen ermöglichen.

Besondere Verfahren und Anlagentypen

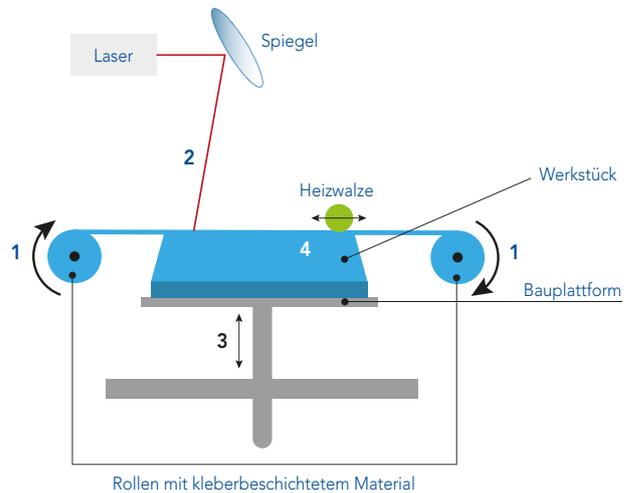
S-Max - Industrieller 3D-Produktionsdrucker für Sand und Metall

Einer der wichtigsten Anbieter für das Binder-Jetting-Verfahren mit großen Bauräumen für Formteile aus Sand oder Metall ist ExOne. Die S-Max bietet eine robuste und zuverlässige Lösung für alle kalthärtenden Bindersysteme im Sanddruck. Sie eignet sich nahezu für alle Gussmaterialien. Große und komplexe Kerne und Formen können hier noch schneller und zuverlässiger realisiert werden. Durch die doppelte Jobbox und den großen Bauraum mit je 1.800 x 1.000 x 700 Millimeter produziert die S-Max mit Effizienz und Durchsatz jede Prototypenanforderung und ganze Serien.



S-Max Großanlage für den industriellen Binderdruck (Quelle: ExOne)

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



Grafik: Verfahrensprinzip beim Layer Laminat Manufacturing

Verfahrensprinzip

Bei den LLM-Anlagen entstehen Bauteile durch schichtweises Verkleben einzelner Folien oder dünner Platten miteinander. 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. Um die Entnahme des Bauteils am Ende des Prozesses zu erleichtern, wird das überschüssige Folienmaterial in kleine rechteckige Teile geschnitten. Die entstandenen Würfel können auf einfache Weise entsorgt werden. Gleichzeitig dient das überschüssige Material zur Abstützung ausladender Bereiche, so dass für diese keine zusätzlichen Stützkonstruktionen notwendig sind. Zur Integration von Funktionselementen oder zur Entfernung überschüssigen Materials in Hohlräumen kann der Prozess angehalten werden. Aufgrund des Verfahrensprinzips sind Schicht-Laminat-Verfahren zwar additive Prozesse, weisen aber verglichen mit anderen Prozessen des Additive Manufacturing weniger Vorteile auf, gerade im Hinblick auf Ressourceneinsparung.

VX4000 - Weltgrößter industrieller 3D-Drucker

Mit einem Bauraum von 4.000 x 2.000 x 1.000 Millimeter bietet voxeljet unter dem Namen VX4000 das aktuell größte 3D-Binderdrucksystem für Sandformen weltweit an. Da bei einem so großen Volumen ein sehr hohes Gewicht auf die Bauplattform einwirkt, wird im Prozess nicht die Plattform abgesenkt, sondern der Druckkopf schichtweise angehoben. Mit Hilfe einer Schiene werden die Sandformen ausgefahren und eine ökonomische Produktion ermöglicht. Die Auflösung beträgt 300 dpi, die Schichtstärke 300 Mikrometer.

Ceramic Printing

Auf Basis einer voxeljet-Anlage hat das amerikanische Unternehmen Boston Ceramics einen 3D-Druckprozess für die Herstellung individualisierbarer Wandfliesen und keramischer Dekor-Objekte. Dabei kommt ein hitzebeständiges und recycelbares Material samt Bindemittel zum Einsatz, das die Pulverpartikel zu einem Objekt zusammenfügt. Die Anlage hat einen maximalen Bauraum von 4.000 x 2.000 x 1.000 Millimeter. Es können Keramikteile mit hochdetaillierten Oberflächenmerkmalen in Losgröße 1 erzeugt werden.

2.1.5 Schichtlaminat-Verfahren

Zu den Schichtlaminat-Verfahren (Layer Laminat 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. Die am Markt geläufige Bezeichnung Laminated Object Manufacturing LOM ist die geschützte Marke des amerikanischen Herstellers Helisys Inc., der die ersten Anlagen seit Mitte der 1990er Jahre am Markt vertreibt. Für das Arbeiten mit Papier ist die Bezeichnung Paper Lamination Technology PLT ebenfalls geläufig.



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

Materialien

Für Schichtlaminat-Verfahren sind verschiedene Folienwerkstoffe und beschichtete Papiere am Markt erhältlich. Diese reichen von einer Vielzahl verschiedener Kunststoffe (zum Beispiel Polyester) bis hin zu faserverstärkten Verbundmaterialien. In Testläufen wurden darüber hinaus bereits Keramik- und Metallfolien erfolgreich verarbeitet. Beim Arbeiten mit metallischen Werkstoffen werden die einzelnen Schichten nicht verklebt, sondern verschweißt. Obwohl bei der Verarbeitung von Papieren bereits der optische Eindruck von Holz entsteht, wurde für die Erzeugung von Holzbauteilen ein besondere Anlagenvariante entwickelt, bei der die Bauteilplattform oben angeordnet ist und der Zuschnitt mit einem Fräskopf erfolgt. Mit dieser Anordnung lassen sich Hohlräume leichter realisieren, da überschüssige Späne unter Einfluss von Schwerkraft aus dem Bauraum herausfallen.

Bauteilgrößen, Genauigkeit, Nachbearbeitung

Die mit LLM-Anlagen verarbeitbaren Schichtdicken liegen zwischen 0,08 und 0,25 Millimeter, üblich sind 0,1 Millimeter. Einige Hersteller geben die Materialdicke verwendeter Standardpapiere auch in den üblichen Flächengewichten an. Typisch sind 80 Gramm pro Quadratmeter. Am Markt erhältliche LLM-Anlagen haben einen maximalen Bauraum von 800 x 600 x 550 Millimeter, bei einer Genauigkeit von +/- 0,1 Millimeter. Die mechanische Belastbarkeit der Bauteile ist abhängig von der Baurichtung. Bei der Nachbearbeitung ist daher auf die Laminierichtung zu achten. Bei der Verwendung von Papier müssen die Oberflächen wegen deren hygroskopischen Eigenschaften abschließend mit einem Klarlack versiegelt werden. Bei neuen Anlagen wird das Werkstück nach dem Entfernen des überschüssigen Papiers in Kunstharz getränkt. Dadurch erhält der Druck eine seidenglanzende Oberfläche.

Anwendung

Aufgrund der bauteilunabhängigen Prozessgeschwindigkeit haben LLM-Verfahren vor allem für die Realisierung besonders großer Teilegeometrien mit eingeschränkter Komplexität Vorteile. Beim Verkleben der Schichten entstehen keine Spannungen, so dass weitgehend verzugsfreie Formteile entstehen. Diese haben vielfach im Modellbau (zum Beispiel für Gießereimodelle) Anwendung gefunden. Da Hohlraumkonturen nur bedingt umgesetzt werden können, weisen die Verfahren allerdings klare Nachteile gegenüber anderen Verfahrensprinzipien auf. Mittlerweile ist eine papierbasierte Schichtlaminat-Anlage für den Bürobetrieb am Markt erhältlich.

Wirtschaftlichkeit

LLM-Anlagen sind im Vergleich zu anderen Anlagentypen relativ kostenintensiv und starten bei einem Preis von 4.000 Euro. Bei den günstigen Anlagen ist der Gebrauch allerdings an besondere Folienmaterialien gebunden.

Besondere Verfahren und Anlagentypen

MCor Papierbasierte Schichtlaminat-Anlage

Das 2005 in Irland gegründete Unternehmen MCor stellt Schicht-Laminat-Drucker her, die mit konventionellem DIN-A4-Briefpapier arbeiten. Im Vergleich zu anderen additiven Fertigungstechnologien fallen somit die Betriebskosten um einiges niedriger aus. Die Papierlagen werden aufeinander geklebt, die Schichtkonturen geschnitten und mit konventioneller Drucktechnologie eingefärbt. Da mehr als eine Million Farben zur Verfügung stehen, lassen sich fotorealistische Objekte umsetzen. Die Farben durchdringen die einzelnen Papierlagen und sorgen für eine satte Farbwirkung. Die Farbauflösung entlang der Bauteilachsen beträgt 5760 x 1440 x 508 dpi (x-y-z). Eine maximale Bauteilgröße von 256 x 169 x 150 Millimeter kann realisiert werden. Seit 2016 ist eine Desktop-Anlage für eine maximale Teilegröße von 245 x 205 x 125 Millimeter am Markt erhältlich.

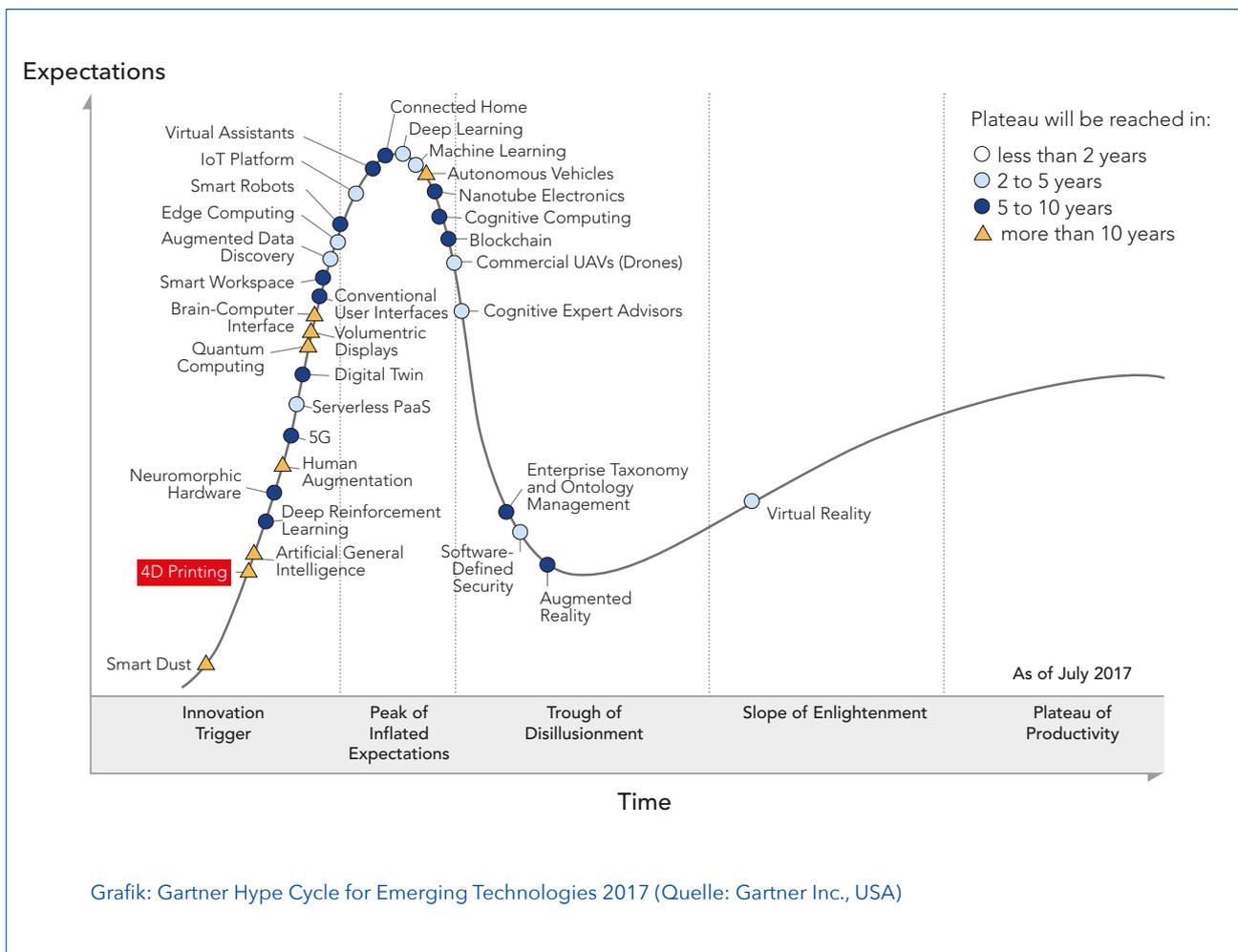
Plattenpresslötten

Bei der Neue Materialien Bayreuth GmbH wurde mit dem Plattenpresslötten (PPL) ein neues additives Verfahren entwickelt. Es basiert auf der Kombination von Fräsen und Lötten und bietet die Option, großflächige Werkzeugeinsätze mit komplizierten inneren Strukturen wie konturnahen Kühlkanälen zu erzeugen. Als Grundwerkstoff dienen mit einem Messinglot beschichtete, vier Millimeter dicke Metallbleche. Die Schichtgeometrie wird in das jeweilige Blech gefräst, die Bleche anschließend passgenau gestapelt und durch Kontaktlötten fest miteinander verbunden. Unebenheiten werden durch gezielt aufgebrachten Druck über die Schließvorrichtung ausgeglichen. Mittlerweile ist das Verfahren so weit entwickelt, dass eine Genauigkeit von 80 Mikrometer erreicht werden kann.

2.1.6 4D-Printing und 4D-Textilien

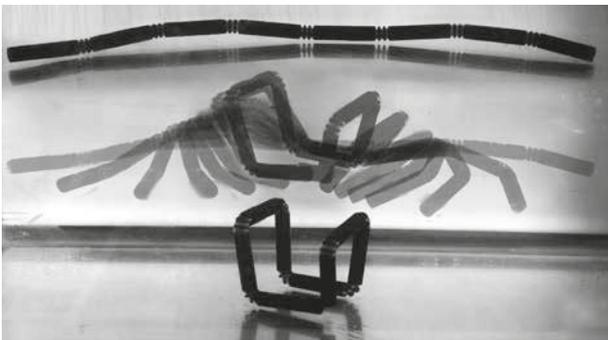
Ein Forscherteam um Skylar Tibbits hat im Jahr 2013 am Self Assembly Lab des Massachusetts Institute of Technology MIT erstmals die Technologie des 4D-Printings vorgestellt. Dabei verwendeten die Wissenschaftler ein eigens vom US-amerikanischen Anlagenhersteller Stratasys entwickeltes Druckmaterial, das unter Einfluss von Temperatur, Licht, Feuchtigkeit oder eines Magnetfeldes seine Geometrie verändert und Funktionen auslösen kann. Die Wissenschaftler versprechen sich von der neuen Verfahrenstechnologie Einsatzmöglichkeiten für sich selbst aufbauende Strukturen im All, für sich an die Durchströmung anpassende Rohrleitungen, sich automatisch öffnende Fassaden oder sich selbst montierende Möbel.

Mittlerweile zeigen Forschergruppen weltweit Interesse an der neuen Technologie und testen, welche Anwendungspotenziale das 4D-Printing für einige der großen Industriefelder haben kann. Neben der Verwendung in der Medizintechnik zum Beispiel für Implantate oder Exoskelette ergeben sich Einsatzzwecke vor allem für die Architektur, die Textil- und die Möbelindustrie. In der Luftfahrt und Automobilindustrie wurden formveränderliche Bauteile am Flügel oder veränderliche Karosserieelemente für Fahrzeuge bereits in Studien untersucht. Aufgrund der zahlreichen Forschungsvorhaben und Potenziale wurde das 4D-Printing erstmals 2016 als eine der aufstrebenden Technologien in den Gartner Hype Cycle aufgenommen.



Feuchte- und lichtsensitive Druckmaterialien

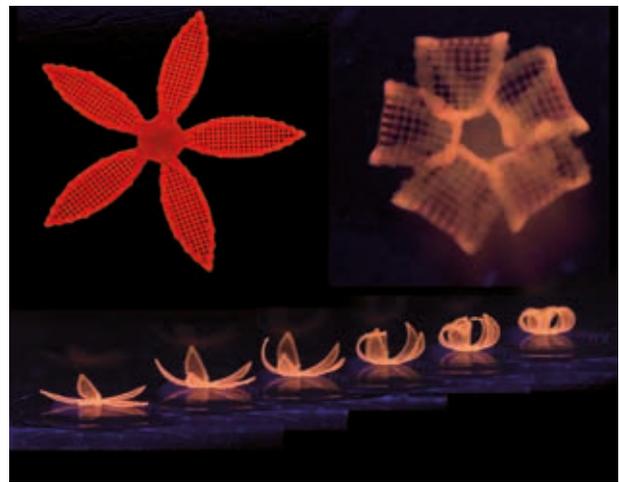
Am MIT wurden in Zusammenarbeit mit dem Software-Konzern Autodesk verschiedene Druckmaterialien entwickelt, die für das 4D-Printing eingesetzt werden können. Die ersten erfolgreichen Tests gehen auf ein hydrophiles Acrylatmonomer zurück, das unter UV-Licht aushärtet und im Wasser ein Hydrogel mit einer Volumenvergrößerung von bis zu 50 Prozent ausbildet. Lichtsensitive Druckmaterialien wurden bereits erfolgreich für veränderliche Carbonfaserstrukturen getestet.



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

Hydrogel und Zellulosefibrillen

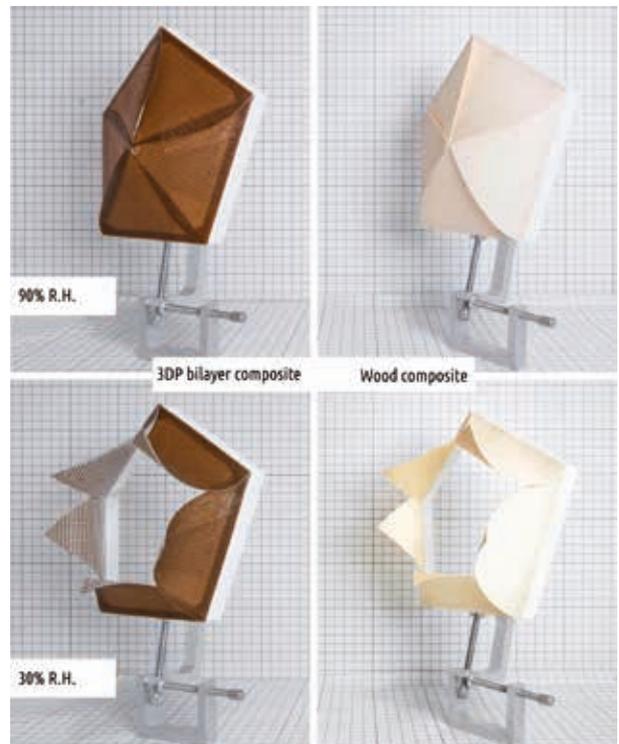
Wissenschaftlern der Harvard University ist es unter Verwendung einer Drucktinte aus einem Hydrogel und Zellulosefibrillen gelungen, die natürliche Bewegung von Pflanzenblüten unter Einfluss von Feuchtigkeit nachzustellen. Zellulose weist eine besonders starke Hygroskopie auf. Unter Feuchteinfluss quillt sie in Faserrichtung stärker als quer dazu. Nach 3D-Druck des Materials in zwei Richtungen begann der Materialverbund unter Feuchteinfluss an zu tellern und bog sich auf. Neben der Drucktinte wurde ein Algorithmus entwickelt, mit dem sich die Transformation vorausbestimmen ließ. Ergebnis war die Nachstellung natürlicher Funktionen aus der Pflanzenwelt.



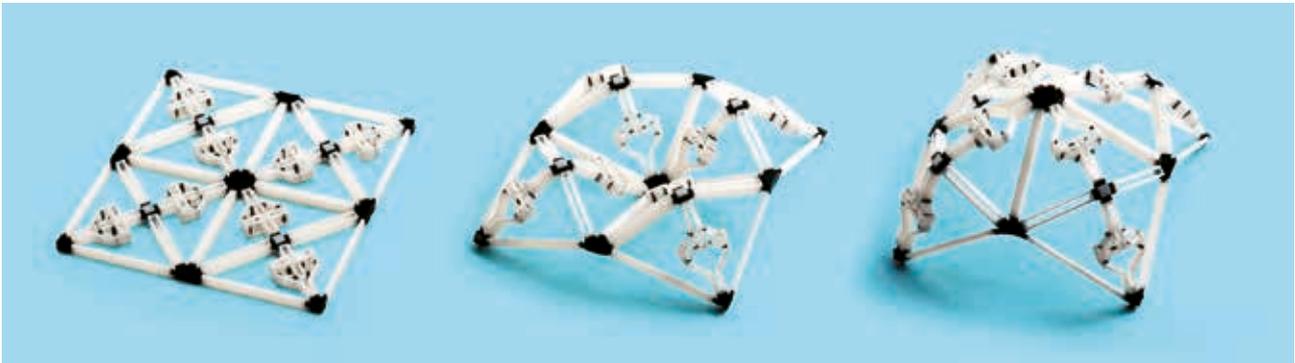
Diese Bilderserie zeigt die Transformation einer 4D-gedruckten Hydrogel-Kompositstruktur nach dem Eintauchen in Wasser (Quelle: A. Sydney Gladman, Elisabetta A. Matsumoto, L. Mahadevan, Jennifer A. Lewis: Harvard University und Wyss Institute for Bioinspired Engineering, USA)

Hygroskopisches Holzdruckfilament

Einen ähnlichen Ansatz verfolgte David Correa mit einem Forscherteam an der Universität Stuttgart. Die Drucktechnologie wurde für ein hygroskopisches Holzfilament so weit entwickelt, dass sich architektonische Strukturen umsetzen ließen, die auf Schwankungen von Umwelteinflüssen reagieren. Die Wissenschaftler wollen in Zukunft Fassadenelemente aus Holz drucken, die sich bei Regen verschließen und bei Sonnenschein selbsttätig wieder öffnen.



4D-Drucken einer formveränderlichen Fassadenstruktur (Quelle: David Correa, ICD/Universität Stuttgart)



Dieses Objekt wird flach gedruckt (links) und kann später in zwei weitere stabile und tragfähige Formen gebracht werden (Mitte und rechts) (Quelle: ETH Zürich, Tian Chen)

Formgedächtnispolymer

An der ETH in Zürich untersuchen Wissenschaftler, wie sich durch 4D-Drucken eines Formgedächtnispolymers in einem Multimaterial-Aufbau flache Bausätze unter Einfluss äußerer Bedingungen in tragfähige dreidimensionale Objekte entfalten lassen. Im Zentrum der Untersuchungen steht ein Hubelement, das Veränderungen zwischen zwei möglichen Zuständen vollzieht und entweder eingezogen oder ausgefahren werden kann. Denkbar sind auch Strukturen mit mehreren stabilen Positionen. Mit Hilfe einer Software wollen die Wissenschaftler die Formveränderung exakt vorhersagen.

Formgedächtnislegierung

Das Laser Zentrum Hannover (LZH) hat im Jahr 2014 erfolgreich durch Lasersintern eines pulverförmigen Formgedächtnismaterials aus einer Nickel-Titanlegierung ein Cochlea-Implantat für Gehörlose gefertigt, das sich erst unter Wärmeeinfluss im Ohr in seine endgültige Position bringt und seine Geometrie optimal an die individuelle Form der Gehörschnecke anpasst. Auch an Implantaten für die Gesichtschirurgie wurde bereits gearbeitet, die sich individuell an den Körper anpassen und bei Kindern sogar mitwachsen können.



Laser-additiv gefertigter Mikroaktor für Cochlea-Implantate (Quelle: Laser Zentrum Hannover LZH)

4D-Textilien

Die Fähigkeit zur Formveränderung lässt sich auch durch Bedrucken eines vorgespannten Textils erreichen. Die Verformung ist dabei ohne externe Energiezufuhr möglich, da die benötigte Energie im Textil bereits gespeichert wurde. Das Self-Assembly Lab des MIT hat unter dem Begriff „Programmable Textiles“ bereits verschiedene formveränderliche textile Strukturen veröffentlicht, die durch Bedrucken eines vorgespannten Textils erzeugt wurden. In Zusammenarbeit mit dem Schweizer Designer Christophe Guberan haben die Wissenschaftler als Anwendungsbeispiel für die Modeindustrie zudem den „Active Shoe“ entwickelt. Das in 2D behandelte Textil formt sich nach dem Druckprozess selbsttätig in sein finales Design. Ansätze zur Verwendung des Verfahrens für die Herstellung akustisch wirksamer 4D-Textilien kommen von Designern aus Köln. An der RWTH arbeiten Wissenschaftler um Professor Thomas Gries unter anderem an Anwendungen für die Medizintechnik. Durch Bedrucken eines vorgespannten Textils mit einem Polymer soll dem Träger eines Exoskeletts der Ablauf verschiedener Bewegungen durch die im Textil gespeicherte Energie erleichtert werden.



Active Shoes Project (Quelle: Christophe Guberan, Carlo Clopath, MIT Self-Assembly Lab)



Die menschliche Greifkraft unterstützendes Exoskelett. Es wurde durch 4D-Drucken eines Kunststoffes auf ein vorgespanntes Textil erzeugt (Quelle: ITA Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen)

2.2 DATENERZEUGUNG UND PROZESSKETTE DER ADDITIVEN FERTIGUNG

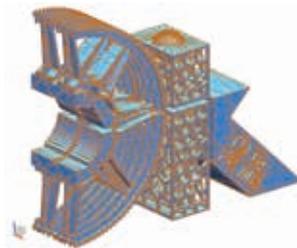
Voraussetzung für den Aufbau einer Bauteilgeometrie mit einer additiven Fertigungstechnologie ist neben dem Zugang zu einer Produktionsanlage das Vorhandensein vollständiger 3D-Geometrieinformationen. Für deren Anfertigung können 3D-CAD-Programme genutzt werden, die die dreidimensionalen Daten in ein Facettenmodell (STL, AMF Additive-Manufacturing File-Format) umwandeln können. Das Facettenmodell wird für den gesamten Prozess der generativen Produktion benötigt. Dabei werden die Formteilflächen über Dreiecke angenähert (Triangulation). Bei gekrümmten Flächen kann es daher je nach Anzahl der Dreiecke zu Ungenauigkeiten und Abweichungen vom eigentlichen Bauteilentwurf kommen. Die Datenmenge steigt mit Anzahl der Dreiecke und der gewünschten Genauigkeit. Die an gedruckten Bauteilen häufig erkennbaren Dreiecksfacetten sind ein Resultat der Geometrieannäherung durch das STL-Format.

Sollen bereits vorhandene Gegenstände oder Körper für die Datenerstellung genutzt werden, bieten taktile oder optische Messtechniken heute die Möglichkeit dazu (zum Beispiel durch 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 reicht heute aus, um aus mindestens 20 Fotos eines Objekts unter Zuhilfenahme einer Software ein 3D-Modell zu generieren. Der derzeit größte mobile 3D-Scanner der Welt wird vom Start-up botspot aus Berlin angeboten und arbeitet zum Erfassen von Körpern und großer Gegenstände je nach Variante mit 60 und 70 integrierten Kameras beziehungsweise Fotosensoren integriert. Die Datenaufnahme ist in weniger als 0,01 Sekunden möglich. Es wird eine Detailgenauigkeit von 0,1 bis 0,2 Millimeter erreicht.

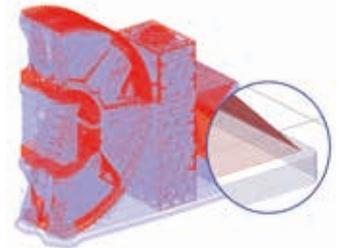
Neben dem Arbeiten mit Fotos kann 3D-Scanning auch über Lichtschnitte oder Streifenprojektionen realisiert werden. Die Verfahren sind teurer, das Ergebnis aber in der Regel hochwertiger. Hierbei werden Linien oder Streifenmuster auf ein Objekt projiziert, der Körper gedreht und die Winkelveränderungen erfasst. Mit einer Software können diese in ein 3D-Geometriemodell überführt werden.

Ob die Daten mit 3D-CAD-System erstellt oder mittels optischer bzw. taktiler Techniken erfasst werden, im Anschluss stellt ihre Aufbereitung einen entscheidenden Schritt innerhalb des generativen Fertigungsprozesses dar. Denn nicht selten entstehen bei der Ableitung des Facettenmodells aus den CAD-Daten Fehler, die die weitere Bearbeitung verzögern. Zu diesen zählen eine falsche Orientierung einzelner Facetten, Lücken zwischen den Dreiecken oder eine Doppelung der Triangulation. Die Fehlstellen müssen vielfach händisch beseitigt werden.

Beim sogenannten Slicing werden anschließend mit einer gesonderten Software die STL-Daten in die für generative Verfahren erforderlichen Schichtinformationen (SLI-Daten) umgerechnet. Um den vorhandenen Bauraum einer Anlage optimal auszunutzen, werden mehrere Bauteile auf der Bauteilplattform verteilt und so orientiert, dass auf Stützkonstruktionen verzichtet werden kann. Kann auf Stützkonstruktionen nicht verzichtet werden, sind diese eine Komponente des Slicing-Prozesses. Die notwendige Software ist bei den Anlagenherstellern erhältlich und wird beim Kauf mitgeliefert. Über die Festlegung der Prozessparameter wie zum Beispiel Lasergeschwindigkeit beim SLS oder Schichtstärke beim FLM kann die Qualität der Bauteiloberflächen und die Herstelldauer entscheidend beeinflusst werden. Die SLI-Daten ermöglichen anschließend die exakte Ansteuerung der Maschine.



3D-Daten im STL-Format



SLI-Daten mit Stützkonstruktionen

(Quelle: Anderl, R.: Additive Manufacturing oder generative Fertigungsverfahren - vom Prototypen zur Massenfertigung? Vortrag anlässlich der Veranstaltung „Additive Manufacturing“ des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, Hanau, 2014)

Je nach Verfahrensprinzip ist nach dem generativen Aufbau der Bauteilgeometrie eine abschließende Reinigung der Teile erforderlich. So müssen bei manchen Prozessen beispielsweise Stützstrukturen entfernt werden. Zur Verbesserung der mechanischen Stabilität oder der Oberflächenqualität können die Bauteile abschließend einer Nachbehandlung unterzogen werden. Die Möglichkeiten reichen vom einfachen Polieren der Bauteiloberflächen über die Infiltration poröser Strukturen mit niedrigschmelzenden Metallen bis hin zum Beflocken oder Metallisieren zur Veredelung der Formteile.



Größter mobiler 3D-Scanner der Welt (Quelle: botspot)

2.3 PROZESSKETTEN UNTER INTEGRATION ADDITIVER FERTIGUNGSVERFAHREN

Nachdem sich additive Fertigungsverfahren seit Mitte der 1990er Jahre für den Prototypenbau durchgesetzt haben, werden sie seit über 15 Jahren auch im Werkzeugbau angewendet. Da es sich hier meist um komplexe Formteile handelt, weisen additive Fertigungsverfahren gegenüber konventionellen Techniken deutliche Kostenvorteile auf. Steht im industriellen Kontext vor allem die direkte Herstellung von Werkzeugen durch Lasersintern und Lasermelting von Metallen im Fokus der Entwicklung, werden kostengünstigere Verfahren mittlerweile auch im Handwerk eingesetzt. Die additiven Produktionstechniken sind dabei meist in einer Prozesskette integriert. Auch die Laser-Auftragsschweißverfahren mit Pulver beziehungsweise Draht werden für die Werkzeugreparatur verwendet.

Glasblasen

Ein Variante der Integration additiver Fertigungsverfahren ist das handwerkliche Glasblasen großformatiger Körper, die sich mit üblichen Prozessschritten kaum umsetzen ließen. Der Glaskörper wird zunächst im Computer dreidimensional aufgebaut und als Formteil auf einer großformatigen FLM-Anlage gedruckt. Daran schließt sich ein Abformen mit Gips an und die Umsetzung von zwei Werkzeughälften werden dann für das eigentliche Glashandwerk genutzt und ermöglichen eine sehr präzise Herstellung des gewünschten Bauteils. Derzeit wird die Verwendung preiswerter 3D-Drucker auch in Verbindung mit Materialien wie Metall oder Porzellan experimentell erschlossen.

Feinguss

Sollen Gussteile mit komplexer Formteilgeometrie im Metallguss zum Beispiel für die Luftfahrt oder die Medizintechnik entstehen, eignen sich auch hier additiv erzeugte Urmodelle für die Verkürzung der Prozesskette. Denn musste früher das Urmodell aufwändig erzeugt werden, genügen heute meist einige Stunden für die Erzeugung der Modellgeometrie. Aufgrund der hohen realisierbaren Oberflächenqualitäten fällt die Wahl meist auf die Stereolithografie. Nach der additiven Herstellung wird das Modell nachbearbeitet und mit einer keramischen Beschichtung versehen, die nach dem Ausbrennen des Urmodells das Feingussformwerkzeug bildet. Mit der abgebildeten Prozesskette können Bauteile mit einer Länge von bis zu 1,20 Metern gießtechnisch umgesetzt werden. Die Abbildungsgenauigkeit ist sehr hoch. Die Abweichungen liegen maximal bei +/- 0,2 Prozent.

Vakuulguss

Funktionsmodelle aus Zweikomponenten-Polyurethanen können in kleinen Stückzahlen in der Regel durch Vakuumabformen erzeugt werden. Für die Herstellung eignet sich die Verwendung eines generativ gefertigten Urmodells, das durch Stereolithografie oder Lasersintern umgesetzt werden kann. Dieses wird in Silikon abgeformt und mit Blick auf die notwendigen Trennebenen in zwei Hälften geschnitten. Der Abguss erfolgt dann unter Vakuum, um Lufteinschlüsse oder Hohlräume zu vermeiden. Aufgrund der hohen Flexibilität der Silikonformen lassen sich selbst Hinterschnitte und komplexe Strukturen realisieren.

Reaction Injection Molding RIM

Das Reaction Injection Molding ist ein in der Automobilindustrie etabliertes Verfahren zur Anfertigung von Kunststoffteilen in kleinen Stückzahlen durch Niedrigdruckinjektion von Duroplastharzen. Für die Herstellung der benötigten Werkzeugformen wird zunächst ein Urmodell generativ auf Basis von 3D-CAD-Daten erstellt und dieses anschließend mit Silikon oder Harzen abgeformt. Je nach Materialwahl lassen sich bei dem Formgebungsprozess unter niedrigem Druck unterschiedlich hohe Stückzahlen realisieren. Für besonders große Bauteile werden heute in der Regel Werkzeuge aus Epoxidharzschichten mit Glasfaserverstärkung gewählt.

Silikonwerkzeuge

(bis zu 25 - 50 Injektionen)

Hybrid-Werkzeuge

(50 - 100 Injektionen)

Harzwerkzeuge mit Glasfaserverstärkung

(200 - 300 Bauteile)

Harzwerkzeuge mit Aluminiumverstärkung

(bis zu 300 - 1.000 Bauteile)

Materialwahl für das Werkzeug und erzielbare Stückzahlen
(Quelle: Materialise)

3. NEUE WERTSCHÖPFUNG MIT ADDITIVER FERTIGUNG

Additive Fertigungsprinzipien haben das Potenzial, konventionelle Produktionstechniken wie Fräsen oder Drehen teilweise abzulösen und neue Wertschöpfungsmöglichkeiten zu entwickeln. Insbesondere in Kombination mit der Digitalisierung und Flexibilisierung von industrieller Großproduktion bis hin zur Ausrichtung der Produktion auf die Losgröße 1 bieten aufbauende Produktionsverfahren Optionen, die bei den klassischen Prozessen nur bedingt zu finden sind. So weisen generative Technologien Qualitäten auf, die sie zur Umsetzung des Zukunftsprojekts ‚Industrie 4.0‘ in der Hightech-Strategie der Bundesregierung unverzichtbar werden lassen.

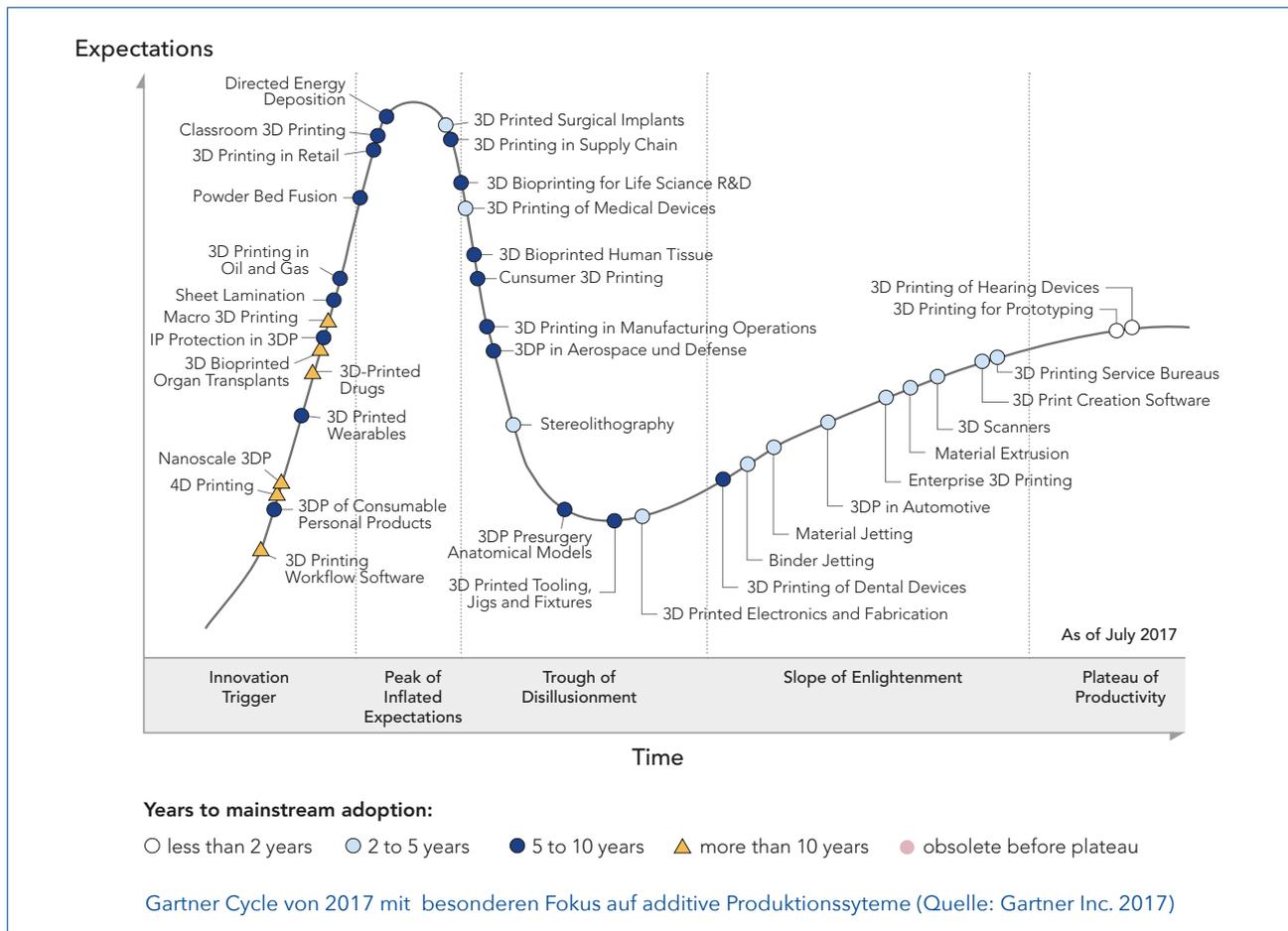
Das derzeit große Interesse an den Möglichkeiten der additiven Produktion und die mediale Aufmerksamkeit seit 2012 hat vor allem mit dem Aufeinandertreffen von zwei Entwicklungen zu tun: Zum einen haben die Hersteller die Anlagen und Werkstoffsysteme so weit verbessert, dass sie mit konventionellen Herstellungsmethoden konkurrieren können. Ihr Einsatz für die direkte Bauteilproduktion rechnet sich mittlerweile in einer ganzen Reihe von Marktsegmenten, sodass teilweise die traditionelle Fertigung durch aufbauende Verfahren ersetzt wurde (zum Beispiel medizintechnische Produkte wie Hörgeräte).

Zum anderen hat das Auslaufen von Patenten und Schutzrechten für einige wichtige Verfahren wie den Filamentdruck 2009 oder das Lasersintern 2014 einen Entwicklungsschub und Preisverfall ausgelöst, der die generative Fertigung auch für Endkonsumenten attraktiv werden ließ. Zwischen 2008 und 2011 konnten die Anlagenhersteller im Low-Cost-Bereich (Anlagen bis 5.000 US-Dollar) jährliche Steigerungsraten von 346 Prozent verzeichnen. Mittlerweile gibt es Hunderte neuer Hersteller von Filamentdruckern und Desktop-Lasersinteranlagen sind am Markt erschienen. Im Jahr 2015 wurden weltweit 278.000 Low-Cost-3D-Drucker verkauft (Wohlers' Report 2016).

Für eine differenzierte Betrachtung der Entwicklung eignet sich der so genannte ‚Hype Cycle‘, den Gartner Inc. jährlich publiziert, um technologische Entwicklungen, die an sie gesetzten Erwartungen und das mediale Interesse anhand einer Kurvengrafik abzubilden. Nach Erfahrung der Marktforscher folgen technische Entwicklungen folgendem Muster: Lässt sich nach Bekanntwerden einer bestimmten technologischen Innovation zunächst ein großes mediales Interesse mit einem hohen Maß an Erwartungen verzeichnen, folgt die Phase der Ernüchterung über die prognostizierten Einsatzpotenziale und damit ein Abfall in der Wertschätzung gegenüber den

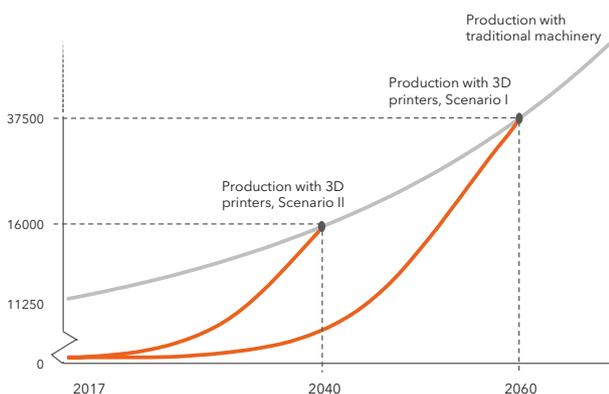
wirtschaftlichen Möglichkeiten. Erst anschließend findet eine nachhaltige Entwicklung hin zu einer produktiven Technologie statt. Jede technologische Neuerung durchläuft den Hype Cycle unterschiedlich schnell. Man geht jedoch meist von mindestens zehn Jahren aus.

Der Hype Cycle aus dem Jahr 2017 zeigt deutlich, dass die additive Fertigung sich im industriellen Kontext zu einer aussichtsreichen Technologie entwickelt hat und ihr produktiver Einsatz in der Fertigung derzeit in den unterschiedlichen Branchen stattfindet. Für die Verwendung des 3D-Druckens im Konsumentenbereich sehen die Marktforscher hingegen ein Überschreiten des Hypes der letzten Jahre gekommen. In der sich anschließenden Konsolidierungsphase wird das wirtschaftliche Potenzial und die Möglichkeiten kritisch hinterfragt. Erst in fünf bis zehn Jahren wird sich der produktive Einsatz von 3D-Druckern in privaten Umgebungen entwickelt haben. Im Bereich des Bioprintings und der Luftfahrt wird in den nächsten Jahren ebenfalls eine Konsolidierung der technischen Möglichkeiten erwartet. Die Option zur additiven Produktion von menschlichem Gewebeersatz bis hin zu ganzen Organen steht noch am Beginn der Entwicklung genauso wie der 3D-Druck von Konsumgütern.



3.1 MARKTEINSCHÄTZUNG

Der Gesamtmarkt rund um die additive Fertigung ist in den letzten Jahren stark gewachsen und soll 2022 bei 34 Milliarden US-Dollar (2016: 6,4 Milliarden US-Dollar) und einem prognostizierten durchschnittlichen Wachstum zwischen 2016 und 2022 in Höhe von durchschnittlich 28,5 Prozent liegen (Quelle: Mordor Intelligence 2017). Etwa 50 Prozent des prognostizierten Marktvolumens wird in den Branchen Fahrzeugbau, in der Luft- und Raumfahrt sowie im Maschinen- und Anlagebau vermutet (Quelle: Melz, Thyes 2017). Wurden additive Produktionsverfahren aufgrund qualitativer Nachteile im Hinblick auf Anforderungen wie Belastbarkeit und Stabilität bis vor ungefähr zehn Jahren ausschließlich für die schnelle Anfertigung von Prototypen (Rapid Prototyping) und Werkzeugen (Rapid Tooling) verwendet, findet seit 2013 eine Veränderung des Marktes und eine Neuausrichtung der Anteile in Richtung der direkten Produktion von Bauteilen durch Additive Manufacturing statt. Diese Entwicklungen bedingen einen sich positiv entwickelnden Werkstoffmarkt für die additive Produktion. Der weltweite Markt für AM-Materialien lag 2016 bei 447 Millionen US-Dollar und soll sich bis 2022 bei einem durchschnittlichen Wachstum von 21,4 Prozent auf prognostizierte 1,268 Milliarden US-Dollar erhöhen (Quelle: Mordor Intelligence 2017).



Studie der ING Bank kommt zu dem Schluss, dass 50 Prozent aller Produkte in Zukunft durch additive Produktionsverfahren hergestellt werden (Quelle: ING Bank, Oktober 2017)

In den genannten Industriebereichen haben 3D-Drucktechniken für einige Produktbereiche einen disruptiven Charakter. Die Möglichkeiten zur Reduzierung der Teileanzahl und zur Materialeinsparung nach Topologieoptimierung bei gleichen oder teilweise sogar besseren mechanischen Qualitäten lassen additive Produktionsverfahren für manche Bauteile alternativlos werden und substituieren die traditionelle Fertigung. Zudem sollen in den nächsten fünf bis zehn Jahren die Herstellungskosten für additiv erzeugte Teile unter Verwendung von Hochgeschwindigkeits-Druckern dramatisch sinken. Das LZN Laser Zentrum Nord erwartet eine Kostensenkung um den Faktor 100 (Sander 2017). Finanzexperten der niederländischen ING Bank gehen in einer Studie aus dem September 2017 sogar davon aus, dass die additive Produktion bis 2040 einen Anteil von 50 Prozent an der gesamten industriellen Produktion einnehmen wird, sollte sich das Wachstum der Investitionen in additive Fertigungssysteme so fortsetzen wie in den letzten Jahren. Die Autoren der Studie gehen zudem davon aus, dass die additive Produktion zu einem geringeren Handelswachstum führen wird, da das Arbeiten mit 3D-Drucksystemen einen niedrigeren Arbeitsaufwand benötigt und sich der Importbedarf an Vor- und Enderzeugnissen aus Niedriglohnländern verringern wird (Quelle: ING Bank 2017).

Neben der Substitution von Teilen traditioneller Fertigung durch additiv gefertigte Teile werden die Markteintrittsbarrieren insbesondere für junge Unternehmen und Start-ups mit innovativen Businesskonzepten im produzierenden Gewerbe gesenkt. Es wird eine Vielzahl neuer Gründungen erwartet, deren Geschäftsmodelle durch Kombination additiver Fertigung und digitaler Vernetzung andere Wertschöpfungspotenziale in den Vordergrund rücken. Idee, Design und Konstruktion erhalten in der Wertschöpfung eine größere Bedeutung, während die Produktion zu einer regional und stets verfügbaren Ressource wird. Es wird erwartet, dass die internationalen immateriellen Güterströme und der Transfer von Daten in Zukunft zunehmen.



3D-gedrucktes Kit zur Aufrüstung eines normalen Fahrrads zu einem Elektrofahrrad (Quelle: Faraday Motion)

3.2 QUALITATIVE WIRTSCHAFTLICHKEITS- BETRACHTUNG

Der sinnvolle Einsatz generativer Techniken in der Fertigung ist bereits heute in weitaus größerem Umfang möglich, als dies aktuell noch diskutiert wird (Vergleich Breuninger, J.; Becker, R.; Wolf, A.; Rommel, S.; Verl, A.: Generative Fertigung mit Kunststoffen: Konzeption und Konstruktion für Selektives Lasersintern. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2013). Denn neben den Material- und Maschinenkosten können mit additiven Verfahren eine Reihe anderer Aufwendungen reduziert werden, die sich durch die Notwendigkeit zu einer fertigungsgerechten Konstruktion, durch den Materialeinsatz und die Logistik von Halbzeugen und Abfallmaterialien in konventionellen Produktionsprozessen bislang ergeben haben.

Ressourceneffizienz, Gewichtsreduzierung und Montageaufwand

Da die Bauteilkomplexität keinen Einfluss auf die Fertigungskosten hat, kann durch Zusammenlegen von Konstruktionselementen die Teileanzahl und der Montageaufwand zum Teil deutlich reduziert werden. Dies wirkt sich ebenso positiv auf die Produktionskosten aus wie die Möglichkeit zur Reduzierung des Ressourcen- und Materialeinsatzes durch komplexe Hohlraumstrukturen, die sich mit konventionellen Techniken gar nicht umsetzen ließen. Durch eine softwareunterstützte Topologie-Optimierung unter Anwendung bionischer Aufbauprinzipien lässt sich eine optimierte Materialverteilung unter Berücksichtigung der mechanischen Lasten realisieren. Der Materialbedarf kann so auf ein Minimum reduziert werden. Die damit einhergehende Gewichtsreduzierung hat insbesondere in der Luftfahrt, für die Elektromobilität und in der Medizintechnik positive wirtschaftliche und ökologische Effekte.



LightHinge+: Gewichtsreduzierung durch Topologie-optimierung (Quelle: EDAG Engineering GmbH)

Konstruktionsaufwand und Zeichnungserstellung

Mit der Reduzierung der Teileanzahl sinkt bei den Unternehmen auch der Gesamtaufwand in der Konstruktion. Zwar müssen Bauteilkonstruktionen auf die jeweilige generative Anlagentechnik ausgelegt sein, jedoch lässt das additive Fertigungsprinzip Konstruktionen zu, die bislang nur mit erheblichem Aufwand hergestellt werden konnten. Durch Teilezusammenlegung verringert sich zudem auch die Notwendigkeit der Zeichnungserstellung für die Produktion. Die vereinfachte Datenverwaltung bietet ein weiteres Einsparpotenzial für das produzierende Gewerbe.

Halbzeugaufwand und Abfallmanagement in der Fertigung

Durch den Betrieb von generativen Produktionsanlagen ist auch ein reduzierter logistischer Aufwand für die Bereitstellung von Halbzeugen oder Stoffen zu erwarten, die für den Betrieb konventioneller Produktionsanlagen bislang notwendig waren. Dies betrifft die Bereitstellung von Kühlschmierstoffen ebenso wie die Entsorgung von Materialabfällen bei der zerspanenden Fertigung. Zudem sind keine Spannmittel oder Vorrichtungen erforderlich, wie man sie in den klassischen Produktionsbetrieben vorfindet.

Durch das Ausnutzen der Angebote von 3D-Druckdienstleistern oder das Betreiben von Low-Cost-Anlagen im Büro oder privaten Kontext können die Einsparpotenziale im Vergleich zum konventionellen Prozess zwischen Produktion, Montage, Verpackung, Logistik und Vertrieb noch viel größer ausfallen. Denn bei einem Download von Bauteildaten aus dem Internet, der additiven Produktion und der Möglichkeit zur direkten Verwendung des Bauteils wird die klassische Wertschöpfungskette deutlich verkürzt. Für Produkte aus dem Elektronik- und Konsumgüterbereich haben Forscher der Michigan University in 2013 beim Vergleich von zwanzig gedruckten Testobjekten erhebliche Einsparmöglichkeiten gegenüber dem Ladenpreis errechnet.

Produkt	Gewicht (Gramm)	Stromverbrauch (Kilowattstunden)	Kosten für Kunststoff	Stromkosten	Gesamtkosten RepRap	Einzelhandelsstückpreis (gesamt, niedrig)	Einzelhandelsstückpreis (gesamt, hoch)
iPhone 5 Dock	46,2	0,28	1,62	0,03	1,65	3,56	29,99
iPhone 4 Dock	19,5	0,1	0,68	0,01	0,69	16,99	39,99
iPhone 5 Hülle ((kundenspezifisch)	7,5	0,04	0,26	0,00	0,27	20,00	56,00
Schmuckkästchen	19,63	0,08	0,69	0,01	0,70	9,00	104,48
Knoblauchpresse	45,01	0,26	1,58	0,03	1,61	5,22	10,25
Schieblehre	6,37	0,05	0,22	0,01	0,23	6,08	7,88
Wandteller	15,7	0,07	0,55	0,01	0,56	2,30	22,07
Ringe für Duschvorhang (12 Stück)	33,6	0,24	1,18	0,03	1,20	2,99	2,99
Duschkopf	71,32	0,27	2,50	0,03	2,53	7,87	437,22
Schlüsselbrett (3 Haken)	17,03	0,08	0,60	0,01	0,61	6,98	49,10
iPad Stand iPad Halter	11,24	0,1	0,39	0,01	0,41	16,99	49,00
Schuheinlagen	39,08	0,13	1,37	0,02	1,38	99,00	800,00
Sicherheitsrasierer	9,9	0,09	0,35	0,01	0,36	17,00	78,00
Pickup	39,31	0,19	1,38	0,02	1,40	9,99	22,99
Spielzeugeisenbahn, Schiene	11,27	0,06	0,39	0,01	0,40	39,48	58,98
Nano Uhrenarmband (5 Glieder)	9,15	0,05	0,32	0,01	0,33	16,98	79,95
iPhone Treibein	12,88	0,08	0,45	0,01	0,46	8,50	29,95
Küchenpapier-Halter	63,44	0,31	2,22	0,04	2,26	11,20	25,00
Piroggen-Form	18,9	0,07	0,66	0,01	0,67	6,95	24,99
Löffelhalter	11,6	0,06	0,41	0,01	0,41	4,95	15,00

Einsparpotenziale für die Herstellung von Produkten auf Basis von Open Source Design unter Verwendung eines 3D-Druckers des amerikanischen Unternehmens RepRap; alle Kosten und Preise in US-Dollar (Quelle: Michigan Technology University, Joshua Pearce)

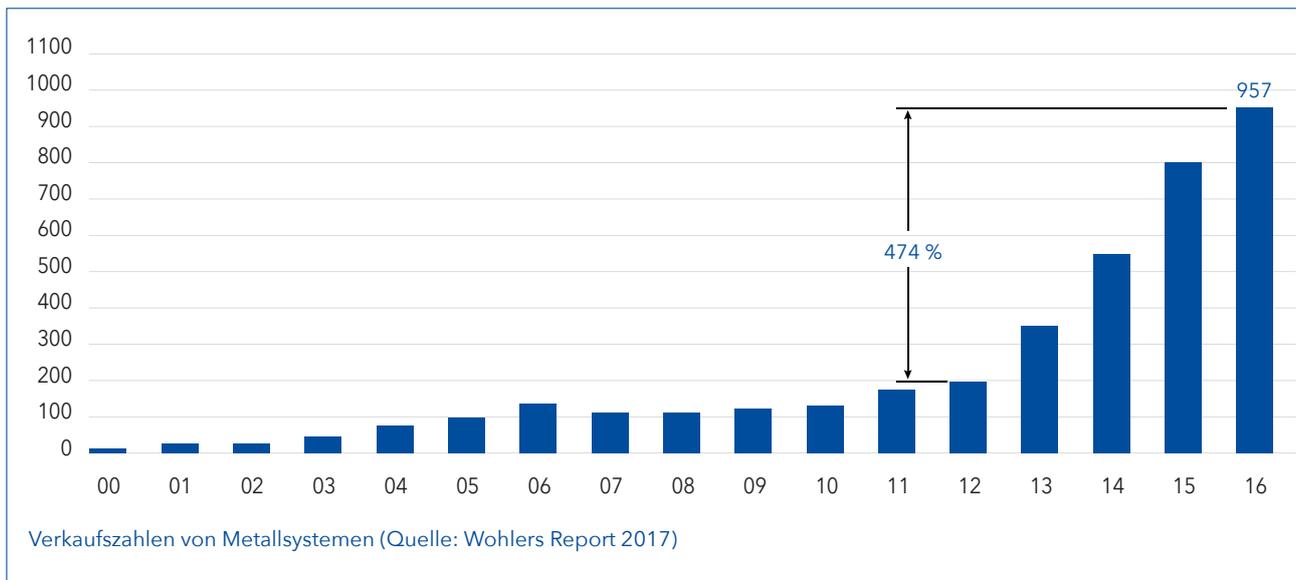
3.3 ANWENDUNGSSZENARIEN UND BRANCHEN

Dass sich die Möglichkeiten der additiven Produktion für die industriellen Hauptbranchen unterschiedlich entwickeln, zeigt folgende Darstellung der Technologiereifen. Klar zu erkennen ist, dass sich generative Prinzipien bereits in der Medizintechnik etabliert haben. Im Werkzeugbau sowie in der Luftfahrt hat sich ihre Bedeutung in den

letzten Jahren ausgebaut. Hingegen bedarf es für die Steigerung der Anwendungsvielfalt in der Automobilindustrie noch einiger Anstrengungen, um die Systeme von ihrer grundlegenden Eignung für die Branche in eine Massentauglichkeit zu überführen.

	Luft- und Raumfahrt	Werkzeugbau	Automobil	Medizintechnik
Produktion bei Vollauslastung	10	10	10	10
Produktion bei Teilauslastung	9	9	9	9
Fähigkeit einer Pilotlinie demonstriert	8	8	8	8
Produktion in Produktionsumgebung validiert	7	7	7	7
Produktionssysteme hergestellt	6	6	6	6
Grundfähigkeiten bewiesen (produktionsnah)	5	5	5	5
Technologie im Labor validiert	4	4	4	4
Machbarkeitsstudie durchgeführt	3	3	3	3
Produktionskonzept identifiziert	2	2	2	2
Funktionsprinzip identifiziert	1	1	1	1
Beispiele	<ul style="list-style-type: none"> • Kraftstoffdüsen • Strukturelemente • Statorteile 	<ul style="list-style-type: none"> • Werkzeuge • Einsätze 	<ul style="list-style-type: none"> • Luftkanäle • Komponenten für die Formel 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Kronen und Verblendungen • künstliche Hüftgelenke • medizinische Instrumente

(Quelle: Roland Berger, Experteninterviews)



Steigende Verkaufszahlen bei den Metallsystemen und insbesondere der Umsatzsprung bei Anlagen für die additive Produktion metallischer Bauteile zwischen 2012

und 2016 lassen darauf schließen, dass sich die Industrie auf einen verstärkten Einsatz generativer Fertigungsverfahren vorbereitet.

3.3.1 Fahrzeugindustrie

Die Automobilhersteller gehörten zu den ersten Unternehmen, die seit Mitte der Neunziger Jahre generative Techniken im Rahmen von Entwicklungsprozessen für die schnelle Prototypenherstellung nutzen. Anders als in der Luftfahrtindustrie sind jedoch die Stückzahlen so hoch, dass die Integration additiver Fertigungstechniken in die automatisierten Produktionsprozesse der Automobilindustrie bislang nicht wirtschaftlich realisierbar war. Die Produktion komplexer Einzel- und Ersatzteile durch generative Fertigungsprinzipien wird zwar in Einzelfällen vor allem im Kunststoffbereich bereits durchgeführt, jedoch steht ein flächendeckender Einsatz noch bevor. Dieser wird mit der steigenden Produktivität additiver Produktionsanlagen in den 2020er Jahren erwartet (Quelle: Herzog, Ernsberger 2017).

An der Vielzahl der Vorhaben der letzten Jahre, in denen die direkte additive Fertigung von Fahrzeugkomponenten mitunter kompletter Karosserieteile erprobt wurde, lässt sich der bevorstehende Einzug generativer Produktionsweisen in der Automobilindustrie bereits erahnen. Insbesondere die in Fulda angesiedelte EDAG Engineering GmbH hat mit einer Reihe additiv gefertigter Konzeptfahrzeuge wie die EDAG Genesis Studie oder der Prototyp „EDAG Light Cocoon“ bereits auf sich aufmerksam gemacht. Vor allem versprechen sich die EDAG-Designer von generativen Fertigungsprozessen die Möglichkeit zur Umsetzung von Leichtbaustrukturen aus der Natur zur Reduzierung des Fahrzeuggewichts und der Integration von Funktionalitäten.

Marktpotenzial

Da die Massentauglichkeit der generativen Fertigungsverfahren für die Fahrzeugindustrie bislang nur in Ansätzen gegeben ist, wird mittelfristig an hybriden Ansätzen gearbeitet, wie beispielsweise die Integration des Laserauftragsschweißens in ein klassisches Bearbeitungszentrum (Abele 2014). Experten gehen davon aus, dass der industrielle 3D-Druck seine Vorteile in der Serie nur ausspielen kann, wenn die Betrachtungen weit über Optimierungen im Hinblick auf Strukturmechanik und Leichtbau hinausgehen und die additive Produktion ganzer Komponenten in Zukunft wirtschaftlich darstellbar wird. Die Marktanalysten von Lux Research kalkulieren ein Marktvolumen im Automotive-Bereich in Höhe von knapp vier Milliarden US-Dollar für 2025 (Lux Research 2013). Zudem wird die Möglichkeit zur Fertigung ‚on demand‘ die Wertschöpfungsketten verändern und dort stattfinden lassen, wo ein passgenaues Bau- oder Ersatzteil benötigt wird. In einer Studie von 2016 nehmen die Trendforscher von Frost & Sullivan einen Anstieg des AM-Marktes im Fahrzeugbereich zwischen 2015 und 2020 in Höhe von 34 Prozent an.



GENESIS Studie (Quelle: EDAG)

Projekte und besondere Entwicklungen

3i-Print: Additiv erzeugter Vorderwagen für VW Caddy

Im Sommer 2017 haben die Unternehmen Altair, APWORKS, csi entwicklungstechnik, EOS GmbH, GERG und Heraeus am Beispiel einer additiv gefertigten Vorderwagenstruktur eines alten VW Caddy in dem gemeinsamen Entwicklungsprojekt 3i-PRINT gezeigt, welches großes Potenzial der industrielle 3D-Druck für die Automobilindustrie in der Zukunft haben kann. Neben einer besonders leichtgewichtigen Struktur konnte eine Vielzahl von Funktionen in die Struktur integriert und damit ein echter Mehrwert erzeugt werden. So verfügt die additiv gefertigte Vorderwagenstruktur über Details zur aktiven und passiven Kühlung von Batterien und Bremsen. Im Projekt wurden vom Design über die Simulation, Berechnung und Konstruktion alle Prozessschritte bis zu Bau und Nachbearbeitung der Baugruppe abgebildet.



Die Struktur ist besonders leicht und gleichzeitig stabil und verfügt über ein hohes Maß an Funktionsintegration (Foto: Haute Innovation)



Autonomer Shuttlebus OLLI mit 3D-gedruckten Karosserieelementen (Quelle: Deutsche Bahn)

Autonomer Shuttlebus OLLI

Als Bestandteil des Zukunftskonzepts „Personentransport der Zukunft“ testet die Deutsche Bahn seit Ende 2016 auf dem Berliner EUREF-Campus eine autonom fahrende Buslinie als Vorboten für selbstfahrende Vehikel im öffentlichen Straßenverkehr. Testfahrzeug ist der Shuttlebus „Olli“ des US-amerikanischen Unternehmens Local Motors, das bereits im Jahr 2014 mit dem Elektrofahrzeug Strati und seiner 3D-gedruckten Fahrzeugkarosserie auf der International Manufacturing Technology Show (IMTS) für Furore sorgte. Der Shuttlebus „Olli“ ging als Siegerbeitrag aus der 3D Printed Car Design Challenge 2016 hervor. Komponenten des selbstfahrenden Kleinbusses werden mittels 3D-Druckern hergestellt.

Akkuschrauberrennen 2016

Bereits zum neunten Mal fand 2016 das von der Fakultät Gestaltung der HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst in Hildesheim ausgerichtete Akkuschrauberrennen statt. Die Idee des Wettbewerbs ist es, dass studentische Teams gegeneinander antreten und ein Fahrzeug für eine Person entwickeln, das lediglich mit der Energie eines Akkuschraubers angetrieben wird. Der thematische Schwerpunkt war 2016 auf die Möglichkeiten des Einsatzes additiver Produktionsmethoden bei der Umsetzung der Fahrzeuge gelegt. Laut Reglement waren Lösungen zugelassen, die zu einem Teil mit 3D-Druckern und generativen Techniken hergestellt wurden. Dabei sollte eine Distanz von mindestens einem halben Meter der tragenden Struktur allein durch das 3D-gedruckte Bauteil zwischen den Achsen überbrückt sein.



Fahrzeug mit 3D-gedruckter tragender Struktur (Quelle: Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Fakultät Gestaltung)

Ersatzteillogistik durch additive Produktion

Die Bereitstellung von Ersatzteilen in der Fahrzeugindustrie durch den 3D-Druck wird derzeit intensiv diskutiert. Denn additive Techniken wären nicht nur für Oldtimer interessant, für die keine Ersatzteile mehr zu bekommen sind. Auch für Fahrzeuge ab einem Alter von zehn Jahren könnte sich die Umstellung auf ein System mit additiven Verfahren bereits lohnen. Die Daten würden den Werkstätten zur Verfügung gestellt, diese könnten das gewünschte Bauteil im Bedarfsfall vor Ort ausdrucken. Eine Lagerhaltung beim Hersteller könnte entfallen. Im Projekt „Kfz-Service-Engineering 2020“ hat Professor Rolf Steinhilper, Inhaber des Lehrstuhls Umweltgerechte Produktionstechnik an der Universität Bayreuth, die Optionen zur Reduzierung des Ersatzteilaufwands durch Reparatur untersucht. Anstelle des Austauschs eines kompletten Bauteils könnte die defekte Stelle mittels eines Scans erfasst und eine neue Komponente additiv erzeugt werden. Bei dieser ressourcenschonenden Methode könnten die Reparaturkosten für den Fahrzeugbesitzer verringert werden und die Wertschöpfung würde bei den Werkstätten bleiben. Seit 2016 hat die Deutsche Bahn AG unter dem Namen „Mobility goes Additive“, ein Netzwerk der additiven Fertigung in der Mobilitäts- und Logistikbranche gestartet und baut ein System für das Ersatzteilmanagement auf. Im August 2017 hat Mercedes Benz LKW die erfolgreiche Produktion des Ersatzteils für eine Thermostatabdeckung für LKW älterer Baureihen vermeldet. Bei Renault Trucks werden seit Anfang 2017 die Potenziale zur Gewichtsreduzierung durch die Produktion von Komponenten für den Euro 6-Motoren untersucht.



4-Zylinder-Motorblock in AlSi10Mg, additiv erzeugt auf einer der größten verfügbaren Lasersinteranlagen, einer X-Line 2000, mit zwei Lasern à 1.000 Watt, Bauraum: 80 x 40 x 50 Zentimeter (Quelle: FKM Sintertechnik)

3D-gedruckter Reifen

Der Autoreifen ist eines der wenigen Teile des Autos, die sich weder in ihrer Gestaltung noch in ihrer Materialzusammensetzung in den letzten Jahrzehnten wesentlich verändert haben. Nun hat sich der französische Reifenhersteller Michelin die Aufgabe gestellt, im Rahmen seiner Konzeptstudie „Movin’On by Michelin“ den Reifen vollständig neu zu denken. Herausgekommen ist ein Reifen aus dem 3D-Drucker, dessen komplexe Geometrie an die filigrane Leichtbaustruktur von Knochen erinnert und über eine 3D-gedruckte Lauffläche verfügt. Michelin will auf diese Weise den Reifen an unterschiedliche Straßenbeläge und klimatische Bedingungen anpassbar machen. Wird eine Veränderung notwendig, wird der Fahrer zur nächsten Druckwerkstatt geführt und bekommt ein neues Profil. Alle verwendeten Druckmaterialien sollen biologisch abbaubar sein.

3.3.2 Medizintechnik

Additive Herstellungsmethoden haben für die Medizintechnik eine große Bedeutung, da mit ihnen die Umsetzung individueller Geometrien mit Losgröße 1 möglich ist. Dies macht den Test von operativen Eingriffen an gedruckten Modellen zu überschaubaren Kosten möglich. Zudem bietet der schichtweise Aufbau die Möglichkeit zur Realisierung von Innenhohlraumstrukturen, wie man sie beispielsweise in der Natur bei Knochen finden kann. Mit konventionellen Techniken wie Fräsen oder Drehen war dies bislang nicht möglich. Die Medizintechnik ist der Industriebereich, in dem der Einsatz von 3D-Drucktechniken für die direkte Bauteilproduktion am weitesten etabliert ist. Für einige Produktbereiche wie individuelle Hörgeräte hat es die konventionellen Produktionsprozesse nahezu vollständig ersetzt.

Generative Fertigungstechniken haben grundsätzlich auch das Potenzial zur Mischung von Materialien, um Formteile exakt auf die individuellen Anforderungen des menschlichen Körpers anzupassen, ob in Form von Implantaten, Prothesen oder als Zahnersatz. Mit dem Bio-Printing hat sich in den letzten Jahren ein neues Anwendungsgebiet für additive Techniken entwickelt. Gemeint sind Verfahren, die mit Hilfe der Gewebezüchtung, dem sogenannten Tissue Engineering, menschliches beziehungsweise tierisches Gewebe durch 3D-Drucken von gezüchteten Zellen in einer Biotinte herstellen können.

Marktpotenzial

Medizinische Einrichtungen haben in den letzten Jahren ihre Investitionen in Anlagen, Dienstleistungen und Software rund um die additive Fertigung erhöht. Die Trendforscher von Gartner gehen in einer aktuellen Studie von Ende November 2017 davon aus, dass mittlerweile drei Prozent aller großen Krankenhäuser und medizinischen Forschungseinrichtungen Ressourcen (Anlagen, Personal, Material etc.) und Know-how in diesem Bereich aufgebaut haben. Des Weiteren gehen die Autoren der Studie davon aus, dass bis 2021 rund ein Viertel aller Chirurgen den eigentlichen Eingriff an 3D-gedruckten Modellen des Patienten probieren werden und sich damit die Zahl von Fehleingriffen reduzieren lassen. Die Bereitstellung schlüsselfertiger Lösungen hinsichtlich der Operationsvorbereitung und Tools für chirurgisches Training und Simulationen wird zunehmend nachgefragt werden. Der Anteil der Medizintechnik am Gesamtmarktvolumen für die generative Fertigung wurde von den Marktforschern von Lux Research bis 2025 auf über 391 Millionen prognostiziert. Dies bezieht sich auf die Herstellung und Anpassung von Prothesen und Implantaten ebenso wie auf Anwendungen in der Dentaltechnik, beim medizinischen Gerätebau sowie für chirurgische Einweginstrumente. Der Markt für das Bio-Printing wird sich voraussichtlich erst nach 2025 entwickeln (Lux Research 2013).

Projekte und besondere Entwicklungen

Individueller Zahnersatz und additiv erzeugte Hörgeräteschalen aus Titan

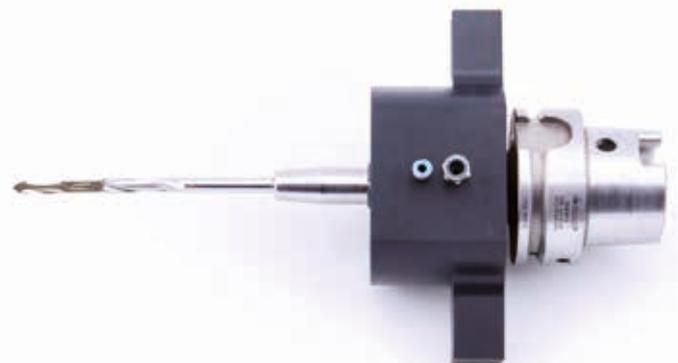
Für die Anfertigung von individuellem Zahnersatz und dentalen Applikationen wie Brücken, Inlays oder Kronen haben sich additive Fertigungsmethoden am Markt etabliert. Zahntechniker schätzen die Möglichkeit zur wirtschaftlichen Herstellung einer auf den Patienten individuell abgestimmten Lösung. Mittlerweile hat sich die additive Produktion auch für Hörgeräteschalen durchgesetzt. Konventionell werden diese aus Acryl hergestellt. Im Sommer 2017 vermeldete die Schweizer Sonova Group die additive Herstellung der weltweit ersten Hörgeräteschale aus Titan. Diese ist 15 Mal widerstandsfähiger als die Acrylangebote und kann so klein ausgeführt werden, dass selbst Patienten ein Hörgerät tragen können, die aufgrund ihres kleinen Gehörgangs bislang auf ein solches verzichten mussten.



Maßgeschneiderte Hörgeräteschalen aus Titan
(Quelle: Sonova Group)

Knochenbohrer mit integrierten Kühlkanälen

An der Leibniz Universität Hannover wurde im Sommer 2017 in Kooperation mit Toolcraft ein Knochenbohrer mit integrierter Kühlung vorgestellt. Durch Verwendung konventioneller Bohrer bei Operationen am Knochen kann so viel Wärme entstehen, dass gesundes Gewebe nachhaltig geschädigt wird. Die additive Fertigung ermöglicht die Integration von innenliegenden Kühlkanälen im Bohrer. So kann die unerwünschte Hitzeentwicklung ausgeschlossen werden. Wasser wird während der Bohrung als Kühlmittel in das Werkzeug geführt und reduziert die Temperatur auf einen Wert, der für den Patienten ungefährlich ist.



Additiv erzeugter Knochenbohrer mit integrierten Kühlkanälen (Quelle: Toolcraft)

3D-Drucker für Medikamente

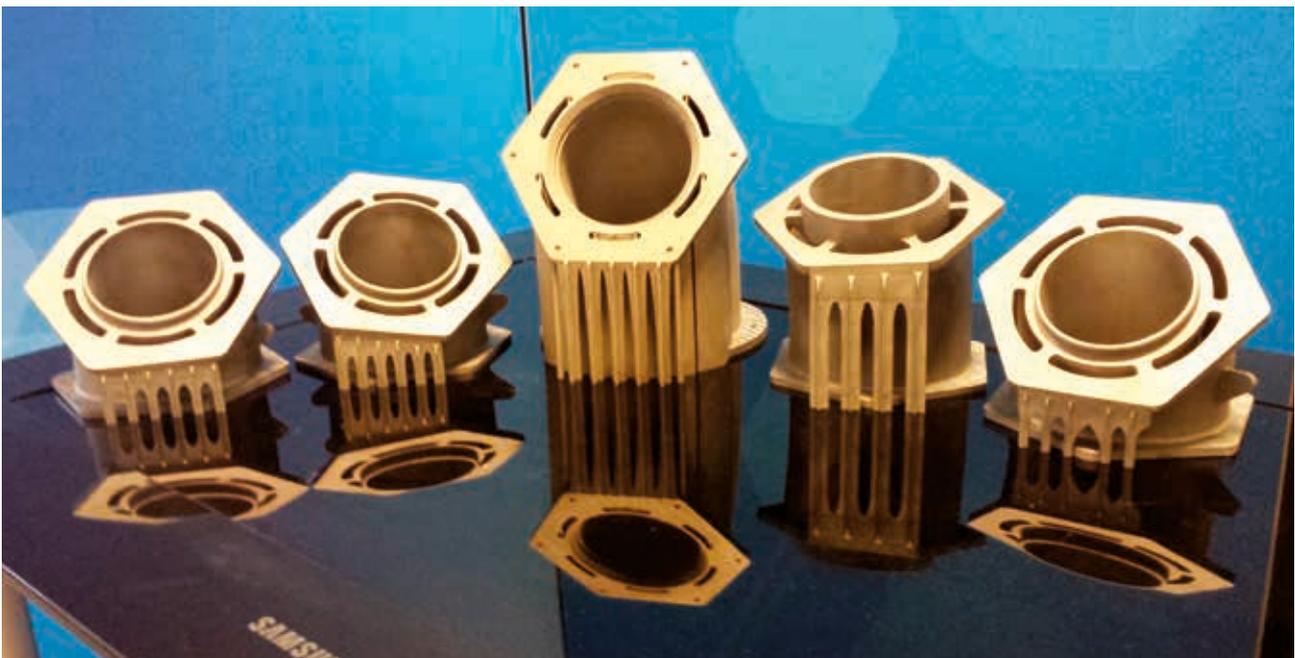
Das US-amerikanische Start-up Vitae Industries hat einen sogenannten AutoCompounder 3D-Drucker entwickelt, der Medikamente und pharmazeutische Gummis in wenigen Minuten, individuell auf den Patienten ausgerichtet, drucken kann. Durch die Personalisierung von Medikation und Dosierung sowie die schnelle Bereitstellung von Pillen wollen die Gründer des Start-ups den Heilungsprozess von Patienten erheblich vereinfachen. Mit dem Konzept der Polypille können mehrere Wirkstoffe in einer einzigen Tablette kombiniert werden.

Bio-Printing/Tissue Engineering

An einer ganzen Reihe von Instituten wird weltweit an der Möglichkeit zur additiven Herstellung von Organen und menschlichem Gewebe geforscht. Die mittelfristigen Ziele sind die Erstellung von Organen zu Testzwecken und die Produktion von menschlichem Gewebe für Implantate. Dabei kommt biologische Tinte zum Einsatz, die menschliche Zellen enthält und schichtweise die organische Gewebestruktur aufbaut. In zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen wurde bereits von der Reproduktion menschlicher Haut (Wake Forest University), der künstlichen Erzeugung eines Meniskus (Cornell-University), der Ohrmuschel (University of Melbourne) und vom 3D-Druck biologischer Materialien berichtet, die Giftstoffe abbauen (ETH Zürich). Wissenschaftler rund um James Yoo melden den erfolgreichen Druck eines großen Hautstücks auf den Rücken eines Schweins. Die Umsetzung eines vollständigen Organs aus mehreren Gewebetypen ist allerdings heute ebenso wenig möglich wie der Aufbau eines Netzes funktionstüchtiger Blutgefäße. Ein ausgereiftes System für eine künstliche Erzeugung von Organen wird daher voraussichtlich erst in zehn bis 15 Jahren zur Verfügung stehen. Bio-Printer sind heute bei Herstellern wie Envision Tech, Organova und Advanced Systems erhältlich und werden vornehmlich in der Wissenschaft eingesetzt.

3.3.3 Luftfahrt- und Raumfahrt-industrie

Seitdem durch Laserstrahlschmelzen gefertigte Bauteile ähnliche mechanische Festigkeiten aufweisen wie durch konventionelle Frästechnologien erstellte Bauteile, erobern additive Produktionsverfahren zunehmend Anwendungsbereiche in der Luft- und Raumfahrt. Mitte 2011 vermeldete die Southampton University die erste geglückte generative Herstellung eines unbemannten Flugzeuges. Im September 2014 hat die NASA erstmals einen 3D-Drucker zur ISS geschickt. Im April 2016 hat Airbus den Einsatz der ersten 3D-gedruckten Komponenten in einem Triebwerk für die nächste Generation des A320 vermeldet, in 2017 wurden Teile in der Hydraulik eines A380 additiv gefertigt. Die großen Flugzeugbauer haben in den letzten Jahren zunehmend ihre Produktionskapazitäten mit additiven Fertigungsmethoden ausgebaut. Airbus hat bereits über 250 Entwicklungsprojekte im Themenfeld 3D-Metalldruck und Bionik durchgeführt (Sander 2017).



Durch Laserschmelzen erzeugte Kraftstoffanschlüsse in Ti6-4 (Quelle: Airbus)

Neben der Gestaltungs- und Geometriefreiheit bietet das Laserstrahlschmelzen im Vergleich zu konventionellen Gieß- oder Fräsprozessen schnellere Durchlaufzeiten, reduzierte Werkzeugkosten sowie eine erhebliche Ressourcenersparnis hinsichtlich Material, Energie und Zeit. Für einige ausgewählte Bauteile konnten Kostenvorteile von bis zu 50 Prozent und eine Gewichtsreduktion von bis zu 40 Prozent realisiert werden. Musste beim Fräsen von Flugzeugteilen noch mit einer Abfallmenge von etwa 95 Prozent gerechnet werden, so reduziert sich diese beim Laserstrahlschmelzen auf 5 Prozent. Zudem bieten additive Verfahren die Möglichkeit, Bauteile gezielter nach dem Verlauf von Kraftlinien auszulegen und dabei die Anforderungen für den Leichtbau noch besser zu berücksichtigen. Mit Blick auf diese Vorteile plant Airbus zukünftig mit 100 Anlagen rund 40 Tonnen Metallpulver monatlich nach additiven Prinzipien zu verarbeiten.

Die Verwendung generativer Verfahren in der Luft- und Raumfahrtindustrie wird neue Möglichkeiten bei der Konstruktion hinsichtlich der Komplexität und Funktionalität von Bauteilen mit sich bringen, die sich positiv auf das Flugverhalten und den Energieverbrauch auswirken werden. Dies betrifft ebenso die Umsetzung von Kühlkanälen wie die Geometrie ganzer Strukturbauteile im Flügel- und Triebwerksbereich. Bereits jetzt wird von den Flugzeugbauern die Umsetzbarkeit von Vorbildern aus der Natur mittels additiver Technologien geprüft.

„Nicht umsonst hat die Natur Funktions- und Leichtbauprinzipien über Millionen von Jahren optimiert und den Ressourceneinsatz clever minimiert. Diese Naturlösungen werden bei Airbus derzeit hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit

strukturiert analysiert“, sagt Professor Dr.-Ing. Emmelmann (CEO, Laser Zentrum Nord GmbH, Hamburg; www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanaele/additive_fertigung/articles/461436/index3.html). Große Potenziale sieht er insbesondere für Strukturbauteile von Abmessungen bis zu einem Meter sowie für Bauteile im Triebwerksbereich.

Marktpotenzial

Die additive Produktion ist für die Luft- und Raumfahrtindustrie vor allem deshalb interessant, weil die Branche geprägt ist von der Fertigung kleiner und mittlerer Stückzahlen. Hohe Werkzeugkosten wirken sich anders als bei der Massen- oder Großserienfertigung in der Automobilindustrie deutlicher auf die Produktionskosten aus. Durch additive Fertigungsverfahren wird eine deutliche Reduzierung der Stückkosten prognostiziert. Darüber hinaus erwarten Experten einen weiteren positiven Kosteneffekt durch die Umgestaltung der Ersatzteillogistik hin zu einer Versorgung ‚on demand‘. Dezentrale Versorgungsnetzwerke können die Bereitstellung vor Ort garantieren und sowohl die Lieferzeiten für Ersatzteile als auch die Stand- und Revisionszeiten verringern. Die Trendforscher von Gartner gehen davon aus, dass bis 2021 in 75 Prozent aller neuen kommerziellen und Militärflugzeuge additiv hergestellte Bauteile im Flugwerk, in den Triebwerken und weiteren Komponenten zum Einsatz kommen werden (Quelle: Gartner 2018). Vorreiter für die additive Produktion in der Luftfahrt sind der Triebwerksbauer GE Aviation sowie Boeing und Airbus.



Thor ist ein unbemannter Erprobungsträger, mit dem die Einsatzmöglichkeiten von 3D-gedruckten Materialien in der Luftfahrttechnik getestet werden sollen. (Quelle: Airbus)

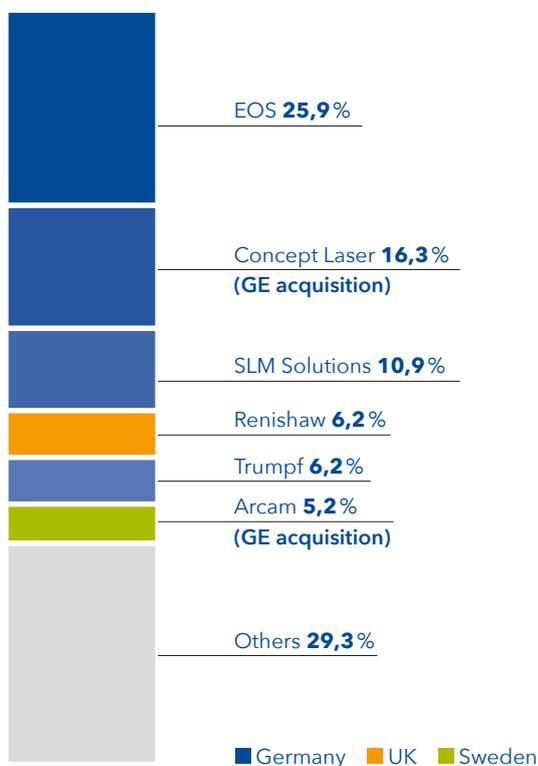
Additiv erzeugte Trennwand
Bionic Partition
(Quelle: Airbus)



Projekte und besondere Entwicklungen

GE Aviation

Als eines der ersten Unternehmen der Luftfahrtindustrie baut GE Aviation seit 2011 systematisch seine Produktionskapazitäten mit additiven Fertigungsverfahren aus. Als einer der weltgrößten Hersteller für Flugzeugtriebwerke verspricht sich das Unternehmen langfristig Kostenvorteile durch die additive Produktion. Denn die Bauteile benötigen weniger Material und sind widerstandsfähiger als solche aus konventionellen Produktionsprozessen. Bis 2020 will GE Aviation den Umsatz im Bereich der additiven Fertigung auf eine Milliarde US-Dollar erhöht haben. Durch Kauf des deutschen Herstellers Concept Laser (Druckverfahren: SLM Selektives Laser Melting) und des schwedischen Anlagenbauers Arcam (EBM Electron Beam Melting) im Sommer 2016 hat das Unternehmen sich den Zugang zur Technologiekompetenz für den geplanten Unternehmensausbau gesichert und gleichzeitig den Einfluss auf über ein Fünftel des weltweiten Marktes für Metalldrucker übernommen.



Marktaufteilung im Bereich des Metalldrucks
(Quelle: Wohlers' Report 2017)

Bionic Partition

Mit der Bionic Partition hat Airbus im Jahr 2016 das bis dahin weltweit größte additiv produzierte Flugzeugbauteil aus Metall umgesetzt. Es handelt sich um eine Trennwand zwischen der Bordküche und dem Passagiererraum, die mit bionischen Konstruktionsmethoden um 45 Prozent leichter als vergleichbare Lösungen ausgeführt werden konnte und im A320 eingesetzt werden soll. Die Gewichtsreduzierung wurde durch Orientierung an das komplexe Wachstumsverhalten des Schleimpilzes erreicht, der sein Adernetzwerk besonders effizient organisiert. Knotenpunkte sind so ausgestaltet, dass der Organismus immer den kürzesten Weg zwischen mehreren Nahrungsmitteln findet. Zur Auslegung der Trennwand haben die Entwickler von Airbus den Wachstumsmechanismus simuliert und auf die Konstruktion übertragen. Die Gewichtsreduktion verringert die CO₂-Emissionen eines Flugzeuges jährlich um bis zu zehn Tonnen. Dank der additiven Produktion und des modularen Aufbaus lassen sich die Trennwände auch in bestehende Flugzeugkabinen einbauen. Einzelne Komponenten können bei Bedarf ersetzt werden.

3D-gedruckte Hydraulik

In Kooperation der TU Chemnitz und Airbus hat Liebherr Aerospace mit Hilfe des 3D-Metalldrucks (SLM von Titanpulver) im Frühjahr 2017 einen Spoiler-Aktuator-Ventilblock entwickelt und damit die weltweit erste 3D-gedruckte Hydraulikkomponente der primären Flugsteuerung vorgestellt. Sie wurde bei einem Testflug eines A380 verwendet und ist 35 Prozent leichter als die bislang übliche Lösung. Liebherr-Aerospace geht davon aus, dass die Gewichtsreduzierung auf Systemebene zu einer erheblichen Verringerung der CO₂- und NOx-Emissionen künftiger Flugzeuge führen wird.

Airbus Cargo Drone Challenge

Die Airbus Gruppe und Local Motors aus den USA haben 2016 die erste Airbus Cargo Drone Challenge ins Leben gerufen und im Rahmen eines Open-Innovation-Modells nach zukünftigen Anwendungsszenarien für Drohnen gesucht. Konkret wurde nach einer Drohne mit einer Tragfähigkeit von drei bis fünf Kilogramm gefragt. Insgesamt war ein Preisgeld in Höhe von 100.000 US-Dollar ausgeschrieben. Vor allem die Airbus-Verantwortlichen schwärmten von der Vielzahl und Vielfalt der eingereichten Ideen. Denn es kamen insgesamt 425 Vorschläge aus 53 Ländern zusammen. Gewinner des Wettbewerbs wurde der russische Architekt Alexey Medvedev aus Omsk mit seiner Fracht-Drohne „Zelator“.



BIG 3D-Betondrucker (Quelle: Imprimere)

3.3.4 Baubranche und Architektur

Für den Modellbau werden generative Verfahren (insbesondere LLM-Verfahren) seit einigen Jahren bereits erfolgreich verwendet. Dass sich additive Technologien jedoch auch für das Bauwesen und zur Herstellung architektonischer Strukturen eignen können, wird spätestens seit der Veröffentlichung eines Projektes der ESA zur Errichtung einer Raumstation auf dem Mond wieder diskutiert. Als einer der ersten Wissenschaftler hatte Dr. Behrokh Khoshnevis bereits 2004 an der University of Southern California unter dem Namen ‚Contour Crafting‘ ein Konzept zum Einsatz additiver Technologien für das Bauwesen entwickelt. In diesem wird mit einem Portalroboter ein schnell härtender Spezialbeton schichtweise auf den Untergrund gespritzt, um Gebäude nach digitalen Bauplänen in weniger als 24 Stunden entstehen zu lassen. Anwendungsszenarien werden neben dem privaten Wohnungsbau vor allem dort gesehen, wo die Errichtung architektonischer Strukturen in abgelegenen Regionen in kürzester Zeit notwendig ist. Einst wurde die Serienreife auf das Jahr 2008 prognostiziert. Durch Schwierigkeiten mit der Festigkeit des Bauwerkstoffs sowie Problemstellungen bei der Umsetzung von Geschossdecken und überhängenden Strukturen zog sich die Entwicklungsreife immer weiter hinaus. Ein Durchbruch hinsichtlich der Serienreife blieb bisher aus. Es gibt eine Vielzahl von Pilotprojekten oder Modellen, die die Potenziale dieser Fertigungsprinzipien im Bauwesen darlegen konnten.

Im Kontext des NASA Innovation Advanced Concepts Program (NIAC) wurde aufbauend auf dem bereits entwickelten Konzept 2012 eine robotergesteuerte Lösung für den Bau einer Raumstation auf dem Mond vorgestellt. Im Frühjahr 2014 vermeldete das chinesische Bauunternehmen WinSun aus Shanghai die erfolgreiche Entwicklung einer einfachen Gebäudestruktur mithilfe eines additiven Fertigungsprozesses. Nach Aussagen der Entwickler soll es damit möglich werden, ein Gebäude mit garagenartiger Form und Größe in weniger als 20 Stunden zu einem Preis von unter 5.000 US-Dollar zu errichten. Die Errichtung eines 6-stöckigen Apartmentgebäudes mit Hilfe additiver Fertigung mit einem erheblichen Einsparpotenzial wurde von WinSun im Januar 2015 präsentiert.



Beton 3D-Druck mit Stahlbewehrung (Quelle: Imprimere)

Seitdem ist eine Vielzahl weiterer Modellversuche und Forschungsvorhaben bekannt geworden, additive Produktionsverfahren im Bauwesen zu etablieren. Die Imprimere AG aus der Schweiz ist seit 2015 in Europa der erste Anbieter eines Portaldruckers für Beton. In 2017 hat Dr. Behrokh Khoshnevis die Contour Crafting Corporation gegründet, um Mitte 2018 den ersten Großformatdrucker für Gebäude auf den Markt zu bringen und den 3D-Druck in der Architektur selbst als Service anzubieten. Zur Milan Design Week 2018 wurde auf der Piazza Cesare Beccaria im Zentrum der Hauptstadt der Lombardei unter dem Namen „3D Housing 05“ das erste 3D-gedruckte Gebäude in Europa präsentiert. Ein Roboterarm verdruckte eine eigens entwickelte, besonders schnell aushärtende Betonmischung des Zementlieferanten Italcementi, um die ungewöhnliche Gebäudestruktur mit Küche, Bad, Wohn- und Schlafzimmer und einer Fläche von 100 Quadratmetern umzusetzen.



3D Housing 05 - Erstes 3D-gedrucktes Gebäude Europas (Foto: Haute Innovation)

Marktpotenzial

Der Einsatz additiver Verfahren im Bauwesen befindet sich in einer frühen Entwicklungsphase. Eine Marktgröße wird in den Analysen der Marktforscher selten erfasst. Terry Wohlers gibt in seinem Report aus dem Jahr 2017 den Marktanteil für die Architektur (darin enthalten ist der Modellbau) mit drei Prozent vom Gesamtmarkt der additiven Produktion an (Wohlers` Report 2017). Es ist zu erwarten, dass in naher Zukunft dieser Markt stärker wachsen wird.

Projekte und besondere Entwicklungen

3D-gedrucktes Bürogebäude in Dubai

Das erste gedruckte Bürogebäude mit einer Nutzfläche von 250 Quadratmetern samt Möbeln und Inneneinrichtung wurde nach einer Bauzeit von 17 Tagen Ende Mai 2016 in Dubai im Kontext des „Museum of the Future“ eröffnet. Dabei wurde ein Portaldrucker mit einem Bauraum von 36 x 6 Metern verwendet. Die Baukosten für das Gebäude werden auf 140.000 US-Dollar beziffert. Die Verwaltung Dubais plant, bis 2030 bei 25 Prozent aller neuen Gebäude additive Produktionstechniken zu verwenden.



3D-gedrucktes Bürogebäude in Dubai
(Foto: Haute Innovation)



3D-gedruckte Fußgängerbrücke (Institute for Advanced Architecture of Catalonia IAAC)

Weltweit erste 3D-gedruckte Fußgängerbrücke

Ende 2016 wurde in der Nähe Madrids in der Stadt Alcobendas die weltweit erste 3D-gedruckte Fußgängerbrücke eingeweiht. Sie ist zwölf Meter lang, 1,75 Meter breit und ist Teil eines Weges im Castilla La Mancha-Park. Die mit Mikrofasern armierte Betonstruktur wurde nach biomimetischen Aufbauprinzipien topologieoptimiert und die Menge der eingesetzten Bauwerkstoffe auf ein Minimum reduziert. Für den 3D-Druck kam ein D-Shape-Portaldrucker von Enrico Dini zum Einsatz. Die Entwicklung entstand am Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC) in Barcelona in Zusammenarbeit mit dem Baustoffhersteller ACCIONA.

CONPrint 3D

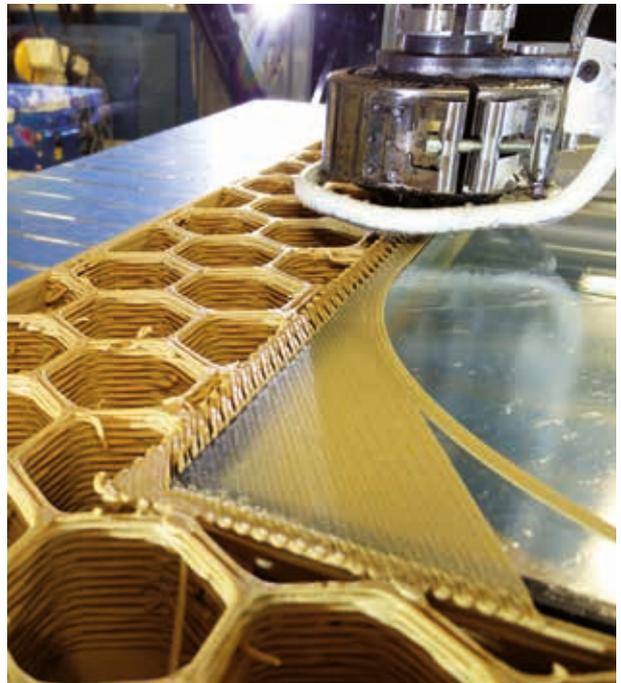
Um den 3D-Druck in das Bauwesen zu übertragen, wird an der TU Dresden das Forschungsprojekt CONPrint 3D durchgeführt. Dabei kommt kein Portalroboter zum Einsatz, sondern ein mit einem Druckkopf ausgestatteter Großraumroboter. Den Wissenschaftlern geht es vor allem um die Entwicklung eines schnell erhärtenden Spezialbetons, der schichtweise und schalungsfrei auf Basis von Geometriedaten aufgetragen werden kann. Das Team der TU Dresden nimmt ein Einsparpotenzial in Bezug auf die Massivbetonbauweise in Höhe von 30 Prozent an.



CONPrint 3D - Mit Druckkopf ausgestatteter Großraumroboter (Quelle: TU Dresden)

Delta WASP 3D-Lehmdrucker

Mit dem Ziel, kostengünstigen Wohnraum in den armen Regionen Afrikas zu schaffen, wurde im Herbst 2014 in Rom der erste große 3D-Lehmdrucker mit einer Höhe von sechs Metern vorgestellt. Der Drucker besteht aus drei beweglichen Stangen und kann nach Aussagen der Entwickler mehrere Lehmarten bis zu einer Bauhöhe von drei Metern verarbeiten. Dabei wird ein Gemisch aus Lehm, Naturfasern und Schlamm für den Bau igluartiger Strukturen genutzt. Mittlerweile erreicht der BIG Delta WASP eine Höhe von zwölf Metern.



3D-gedruckte Raumecke aus dem Projekt „10 Smarta Kvadrat“ (Quelle: BLB Industries)

Robotergeführtes Metallauftragsschweißverfahren

Seit 2015 arbeitet der niederländische Designer Joris Laarman mit seinem Unternehmen MX3D in Zusammenarbeit mit Autodesk und dem Bauunternehmen Heijmans an einem robotergeführten Auftragsschweißverfahren zur additiven Herstellung einer Metallbrücke über einen Kanal in Amsterdam. Bei dem Verfahren wird konventionell erhältlicher Schweißdraht aufgeschmolzen und schichtweise aufgebracht. Die Geschwindigkeit des Prozesses ist so eingestellt, dass Abkühlung und Aushärtung so schnell stattfindet, dass keine Stützstruktur für Überhänge und Hinterschnitte notwendig ist. Die Fertigstellung der 3D-gedruckten Metallbrücke wird für Herbst 2018 erwartet. Die Installation wird im Jahr 2019 erfolgen.

10 Smart Kvadrat

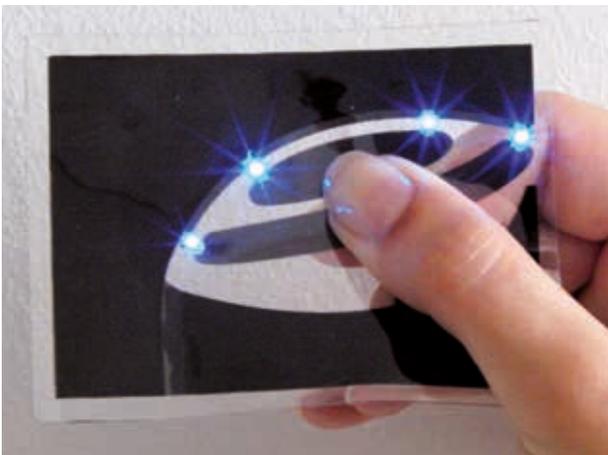
Der schwedische Anlagenhersteller BLB Industries hat im Jahr 2016 einen Großdrucker für Kunststoffbauteile auf Basis der Fused Granular Fabrication (FGF)-Technologie vorgestellt, der in Dimension und Ausführung an den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden kann. Im Kontext des Modellprojekts „10 Smarta Kvadrat“ wurde in Kooperation mit einem schwedischen Bauunternehmen ein Gebäudeteil als Wandstruktur mit eingelassenem Fenster aus dem Polymer PLA mit 20-prozentigem Holzfaserteil 3D-gedruckt. Der additive Herstellungsprozess mit einer zwei Millimeter Düse dauerte für zehn Bauteile insgesamt eine Woche.



3D-gedruckte Metallbrücke (Quelle: MX3D, Amsterdam)

3.3.5 Elektronik

Additiv erzeugte und 3D-gedruckte elektronische Systeme finden 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 ebenso wie 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 unter Reduzierung von Bauteilgröße und -gewicht mit sich bringt. Insbesondere in den Entwicklungsprozessen der Biomedizin besitzt die schnelle Bereitstellung von Leiterplatten eine hohe Relevanz.



Gedruckte Batterie (Quelle: Fraunhofer ENAS)

Es wurde eine Vielzahl von Methoden und Techniken entwickelt, um elektrisch leitfähige Tinten oder Pasten durch Siebdruck, Dispensverfahren und Ink- oder Aerosol-Jet additiv aufbringen zu können. Außerdem haben in Kunststoffkörper eingebettete Additive eine Bedeutung für die 3D-gedruckte Elektronik. Hinzu treten 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). Man verspricht sich Möglichkeiten zum 3D-Druck von Batteriesystemen. Aktuell wird auch an AM-Methoden für die Herstellung von Elektroniklösungen im Nanobereich gearbeitet. Die ersten 3D-Drucker für den Elektronikbereich sind im Jahr 2015 auf den Markt gekommen.

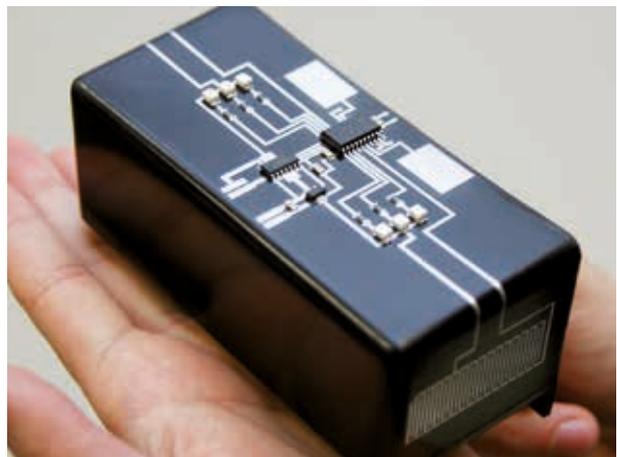
Marktpotenzial

Die 3D-gedruckte Elektronik ist ein Markt, der sich in der nächsten Dekade sehr positiv entwickeln soll. Es wird ein Marktvolumen von einer Milliarde US-Dollar im Jahr 2025 prognostiziert (Harrop 2015). Die Anwendungen weisen einen starken Bezug zu herkömmlichen zweidimensionalen Drucktechniken auf. Hier werden zwar gebogene, aber dennoch zweidimensionale Oberflächen bedruckt, es entstehen aber keine dreidimensionalen Körper.

Projekte und besondere Entwicklungen

3D-gedruckte Antenne

Die Neotech AMT GmbH in Nürnberg ist spezialisiert auf die Entwicklung von 3D-Druckern und Prozessen für elektronische Anwendungen. Unter Verwendung einer patentgeschützten Technologie können die additiven Produktionsanlagen elektronische Komponenten und Systeme auf ebene und komplexe dreidimensional geformte Substrate aufbauen. Der Anwendungsbereich der Technologie von Neotech umfasst auch spritzgegossene Schaltungsträger (Moulded Interconnect Devices, 3D MID), integrierte Sensoren und Materialien zum Schutz und zur Verbindung sensibler Elektronik. Ein Anwendungsbeispiel ist eine 3D-gedruckte Antenne für Mobilfunkanwendungen.



3D-gedruckte Elektronik für die Automobilindustrie (Quelle: Neotech AMT GmbH)



Voltera V One - Leiterplattendrucker für gedruckte Elektronik
(Quelle: Voltera)

Voltera V One Leiterplattendrucker

Mit einem Drucker für leitfähige Pasten und Tinten hat ein studentisches Entwicklerteam der kanadischen Waterloo University Ende 2015 das Rennen um den renommierten James Dyson Award gemacht. Das bei einer Kickstarter-Kampagne eingesammelte Investmentkapital in Höhe von £ 331.000 wurde genutzt, um Voltera V-One auf den Markt zu bringen. Die schnelle Bereitstellung von Leiterplatten ist insbesondere für die Entwicklung digitaler Geräte und biomedizinischer Applikationen von großer Bedeutung. Leichte Änderungen am Design der Schaltungen machen bei den konventionellen Methoden zeitaufwändige Prototypen erforderlich. Mit Voltera V-One könnte der Aufwand für die Erzeugung von Varianten elektronischer Schaltungen in den Entwicklungsphasen der Elektroindustrie auf ein Minimum reduziert werden. Mit dem V-One wird eine leitfähige Flüssigkeit mit Silberpartikeln auf herkömmliches Platinenmaterial aufgetragen. Eine zweite nichtleitende Flüssigkeit sorgt für eine elektrisch isolierende Schicht zwischen den einzelnen Lagen.

3D-Drucktechnologie zur Integration von Elektronik

In Kooperation mit Boeing wurde 2017 an der University of Sheffield ein additiver Fertigungsprozess entwickelt, um elektrische Komponenten, optische Systeme beziehungsweise Strukturelemente während des 3D-Druckvorgangs in ein Bauteil zu integrieren. Auf diese Weise können komplexe Funktionselemente in einem Produktionsschritt zeit- und kosteneffizient hergestellt werden. Die Entwicklung wurde unter dem Namen „Thread“ zum Patent angemeldet. Die Funktionsweise wurde bislang lediglich mit Kunststoffen getestet. Laut Aussage der Entwicklungsingenieure von Boeing soll das Verfahren aber auch auf andere 3D-Drucksysteme übertragbar sein. Das große Ziel der Wissenschaftler war es, Bauteile mit unterbrechungsfreien Leitungen, Fasern und Drähten in allen drei Dimensionen realisieren zu können und den additiv erzeugten Teilen zusätzliche Funktionen zu verleihen.

3D-Druck für Dauermagnete

Die Erzeugung von Dauermagneten mit starker magnetischer Wirkung ist heute Stand der Technik. Jedoch stellt die Umsetzung komplexer Geometrien mit bestimmter Magnetfeldwirkung die Wissenschaftler und Produzenten vor große Herausforderungen. Formgebende Verfahren wie das Spritzgießen sind wirtschaftlich nicht einsetzbar. Wissenschaftler der TU Wien haben 2017 einen 3D-Drucker entwickelt, um Dauermagneten mit maßgeschneiderten Magnetfeldern erstmals additiv herstellen zu können. Für den Magnet-Drucker wurden spezielle Filamente aus einem magnetischem Mikro-Granulat entwickelt, das in einer Polymermatrix gebunden wird. Die Magnetpartikel sind so fein in einem thermoplastischen Kunststoff verteilt, dass sich das Filament in einer beheizbaren Düse aufweichen und Schicht für Schicht auftragen lässt. Mit dem neuen Drucker entstehen Dauermagneten, die zu rund 90 Prozent aus magnetischem Material und zu zehn Prozent aus Kunststoff bestehen. Nach der Formgebung wird das zunächst noch nicht magnetische Material einem starken äußeren Magnetfeld ausgesetzt und der Dauermagnet erzeugt. Dabei lässt sich das Feld in seiner Wirkung spezifisch einstellen.



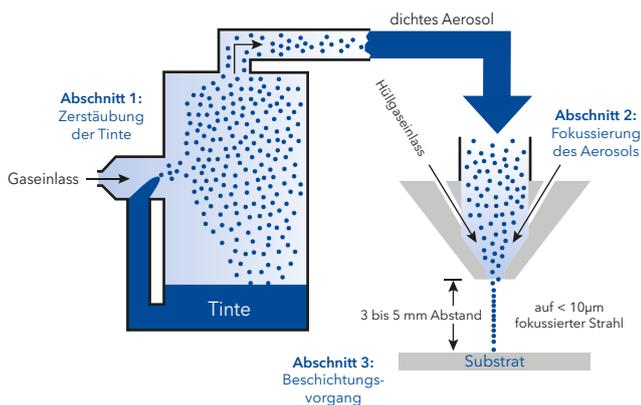
3D-gedruckte Dauermagnete (Quelle: TU Wien)

Fluidic Force Microscopy

Unter dem Namen Fluidic Force Microscopy (FluidFM) befindet sich derzeit ein additives Produktionsverfahren für äußerst feine metallische Strukturen in der Forschung, mit dem sich in Zukunft Mikrobauerteile für die Medizintechnik, den Elektrobereich und die Uhrenindustrie herstellen lassen. Mit Hilfe einer computergesteuerten Mikropipette wird eine Kupfersulfatlösung auf ein leitfähiges Substrat aufgebracht. Durch Anlegen einer Spannung wird elektrochemisch reines Kupfer abgeschieden. Bei einer Pixelgröße von nur 0,8 Mikrometer können mit dem Verfahren Bauteile entstehen, die halb so dick sind wie ein menschliches Haar (Caviezel, C. et al. 2017).

Aerosol Jet Printing

Mit dem Aerosol Jet Printing der US-amerikanischen Firma Optotec können auf dem Markt erhältliche leitfähige, dielektrische Halbleiter- und biologische Tinten auf eine Vielzahl flacher und dreidimensionaler Substrate aus Kunststoffen, Keramiken oder Metallen gedruckt werden. Die leitfähigen Tinten werden in einem Zerstäuber in einen mit dem Druckmedium enthaltenen Nebel überführt. An einer Düse wird der Nebel auf das Substrat abgeschieden. Eine den Nebel umhüllende Schutzgasumgebung sorgt dafür, die zerstäubte Tinte fokussiert zu halten und sie in eins bis fünf Mikrometer großen Tröpfchen auf dem Substrat auszudrucken.



Verfahrensprinzip des Aerosol Jet Printings (nach OPTOMECC, Fraunhofer ENAS)

3.3.6 Konsumgüter

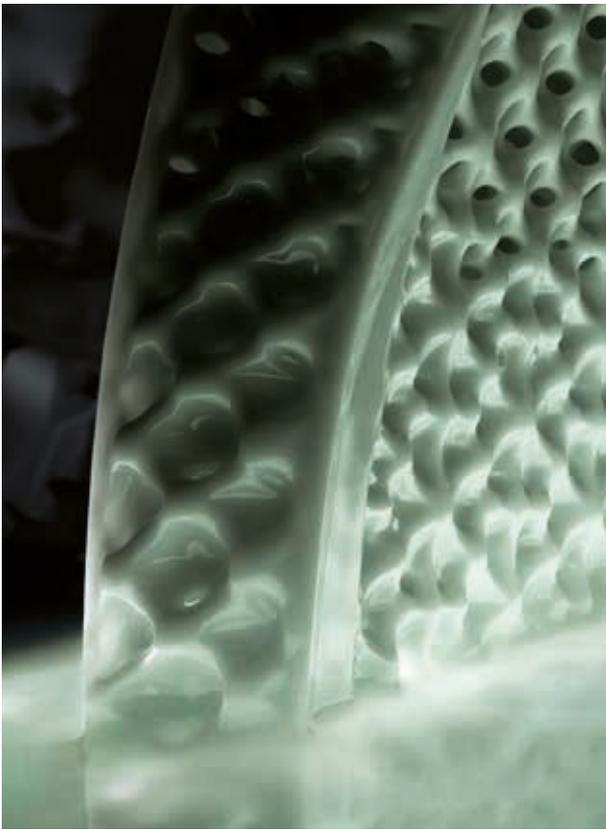
Die Autoren der Studie „Predicts 2018: 3D Printing and Additive Manufacturing“ vom amerikanischen Analyseunternehmen Gartner Inc. gehen davon aus, dass bis 2021 rund ein Fünftel der 100 führenden Unternehmen aus der Konsumgüterindustrie additive Produktionsverfahren für die Entwicklung und Herstellung ihrer Produkte einsetzen werden. Der Hauptfokus wird dabei nach wie vor auf dem schnellen Prototypenbau liegen, um die Entwicklungszyklen in der Branche zu verkürzen und das Investitionsrisiko für Neuentwicklungen zu minimieren. Die Marktforscher bei Gartner weisen ausdrücklich darauf hin, dass additive Fertigungsverfahren im Konsumgüterbereich mit Blick auf die Kostenstruktur die traditionelle Massenfertigung nicht ersetzen werden. Sie werden lediglich dort zum Einsatz kommen, wo Produktpassungen einen signifikanten Mehrwert bieten und der Nutzer ein individuelles Produktmerkmal erwartet.

Marktpotenzial

In manchen Bereichen der Konsumgüterindustrie werden sich unter dem 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, ihren Kunden 3D-Druck-Dienstleistungen anzubieten.



3D-gedrucktes, individualisiertes LUMIX Kameragehäuse (Quelle: Materialise)



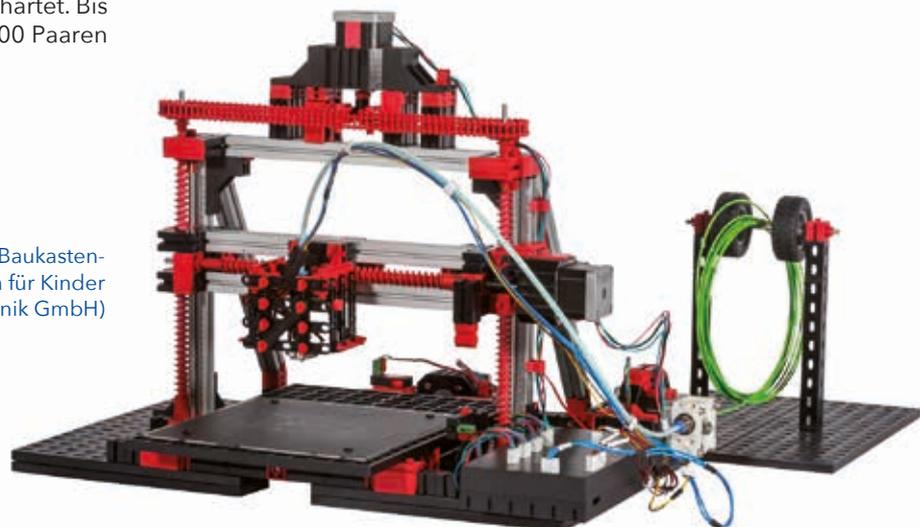
Futurecraft 4D - Sohlenfertigung im CLIP-Verfahren
(Quelle: Adidas)

Projekte und besondere Entwicklungen

Futurecraft 4D

Als einer der ersten Sportschuhhersteller hat Adidas im Jahr 2015 begonnen, additive Fertigungsverfahren zur Herstellung individuell an den Sportler angepasster Sohlen zu nutzen. In einem ersten Projekt mit dem 3D-Druck-Dienstleister Materialize wurde die Laufbewegung eines Sportlers auf dem Laufband vermessen, die Daten des Fußabdrucks erfasst und im Lasersinterverfahren die individuelle Zwischensohle aus flexiblem Polyurethan für den Sportschuh nach Maß gefertigt. Diese entsprach exakt den Konturen und Druckpunkten des Läufers und passte sich den Bewegungsabläufen an. Im Frühjahr 2017 hat Adidas angekündigt, in Partnerschaft mit dem kalifornischen Unternehmen Carbon3D die Mittelsohle des Futurecraft 4D-Schuhs unter Einsatz der CLIP-Technologie (Continuous Liquid Interface Production) additiv herzustellen. Bei dem Digital Light Synthesis-Verfahren wird ein Harzsystem durch Lichteinfluss ausgehärtet. Bis Ende 2018 soll eine Serie von mehr als 100.000 Paaren produziert werden.

3D-Drucker als Baukastensystem für Kinder
(Quelle: fischertechnik GmbH)



AM-Druckdienstleistungen in Baumärkten

Einige große Baumarktketten in Deutschland haben 2017 begonnen, 3D-Druckservices für ihre Kunden aufzubauen. Dazu wurden Internetplattformen entwickelt, die es ohne Vorkenntnisse erlauben, Bauteile in verschiedenen Materialien wie Polyamid, Alumide (Pulvermischung aus PA12 und Aluminium), Keramik, ABS oder Stahl zu bestellen. Es können entweder bereits vorhandene 3D-CAD-Daten des Bauteils hochgeladen, skaliert und bearbeitet oder Anfragen auf Basis von Skizzen und Zeichnungen wie zum Beispiel Bilder versendet werden. Aus diesen werden dann in Zusammenarbeit mit einem Dienstleister die benötigten Daten für den 3D-Druck erzeugt.

3D-gedruckte Spielwaren

Für die Spielwarenindustrie ergeben sich durch additive Produktionsmöglichkeiten vielfältige Potenziale zur Entwicklung neuer Geschäfts- und Vertriebsmodelle. Dies wird insbesondere durch die Einbeziehung des Kunden zur Mitgestaltung der Spielwaren deutlich. So sind einige Anbieter in den letzten Jahren Partnerschaften mit 3D-Druckdienstleistern eingegangen und bieten Kindern die Gestaltung und den Druck des eigenen Spielzeugs am Computer in Spielwarengeschäften an. Kinder erhalten die Möglichkeit, ihr eigenes Spielzeug am Computer mitzugestalten und vor Ort additiv herstellen zu lassen (Leupold, Glossner 2016). Im Frühjahr 2016 haben die Fischerwerke auf der Nürnberger Spielwarenmesse einen 3D-Drucker als Baukastensystem für Kinder präsentiert. Damit erhalten Heranwachsende einen einfachen Zugang zur Technologie und können sich Bausteine und -elemente selber ausdrucken. Auf dem fischertechnik eLearning Portal erhalten die Kinder Druckdaten, Bauteilbeispiele, didaktische Begleitinformationen und Videos.



Bild: Weltweit erster 3D-gedruckter Freischwinger „Cellular Loop“ (Design: Anke Bernotat)

3.3.7 Design, Schmuck, Interior

Für die Kreativbranche hat die generative Fertigung seit jeher eine große Anziehungskraft. Denn mit additiven Technologien scheint die Umsetzung von Entwürfen möglich, für die bislang ein breites Wissen zu Fertigungsverfahren notwendig oder die Realisierung wegen technischer oder wirtschaftlicher Restriktionen schlichtweg nicht möglich waren. Mit additiver Fertigung lassen sich Produkte und Konzepte selbst mit komplexen Geometrien, Hohlräumen, Hinterschneidungen und beweglichen Komponenten erzeugen. Dies verändert die Arbeitsweise der Gestalter und Produktentwickler insofern, als dass die Kenntnis um fertigungsgerechte Konstruktionsweisen nur noch in Ansätzen erforderlich ist. Mit neuen Materialentwicklungen erfahren additive Technologien derzeit auch Verwendung im Modebereich.

Die Verfügbarkeit von Bausätzen und Informationen zu ihrer Konstruktion und zum Betrieb samt Software und Bauteildaten hat zu einer Flut von Entwicklungen durch Designer und Architekten geführt. Vertreter der Kreativwirtschaft haben eine Vielzahl neuer Anlagen entwickelt und diese zum Teil patentiert und in ein erfolgreiches Geschäftsmodell überführt. So stammen die Entwicklungen zum 4D-Printing in der Hauptsache von Designern und Architekten des MIT Media Labs. Die Entwicklung eines Verfahrens zum robotergeführten Metallauftragsschweißen zur Herstellung einer Brücke stammen vom Designer und Künstler Joris Laarman aus Amsterdam. Der weltweit erste 3D-gedruckte Freischwinger „Cellular Loop“ wurde von der Designerin Anke Bernotat aus Fulda gestaltet und mit der Lasersinterertechnologie gefertigt.

Marktpotenzial

Die Möglichkeiten der additiven Fertigung für die Kreativ- und Designbranche sind enorm. Daher wird sich in Zukunft ein eigener Markt mit Produkten, Szenarien und Geschäftsmodellen herausbilden, der auf Vertreter der Kreativwirtschaft zurückzuführen ist. Dabei wird es sich weniger um Wirtschaftsprozesse im Sinne der Massenproduktion nach konventionellem Verständnis handeln, sondern vielmehr um Lösungen mit individueller und individualisierbarer Gestaltung, Funktionalität und Herstellungsmethodik. Vor allem im Schmuckbereich werden generative Fertigungsverfahren schon heute als Alternative zu den konventionellen Prozessketten eingesetzt. Um das Potenzial der Designbranchen unter Ausnutzung additiver Fertigungsverfahren aufzuzeigen, wurde im Jahr 2015 die 3D Pioneers Challenge ins Leben gerufen, die in Kooperation mit der Rapid.Tech in Erfurt jährlich durchgeführt wird.



Gewinner der 3D Pioneers Challenge 2017 - Project T.O.S.T. Topology Optimized Skateboard Trucks (Quelle: Philipp Manger, Ernst-Abbe-Hochschule Jena)

Projekte und besondere Entwicklungen

Open Rugs

Im April 2017 haben die niederländischen Designer vom Studio Plott erstmals einen 3D-gedruckten Teppichboden präsentiert, dessen Struktur individuell am Rechner bestimmt werden kann. Um die weiche Haptik einer textilen Oberfläche näherungsweise herzustellen, wird das 3D-gedruckte Muster nach dem additiven Herstellungsprozess mit einer Beschichtung aus Flockfasern versehen.



3D-gedruckter Teppich mit Flockbeschichtung
(Design: Studio Plott)

Keramikdruck

Der niederländische Designer Olivier van Herpts hat einen 3D-Drucker für große Keramikteile auf Basis der Delta-Tower-Technologie entwickelt. Dazu hat er den Drucker mit einem Extruder für pastöse Massen ausgestattet. Mit diesem kann er Keramiken mit einer maximalen Höhe von 80 Zentimetern und einem Durchmesser von bis zu 42 Zentimetern herstellen.

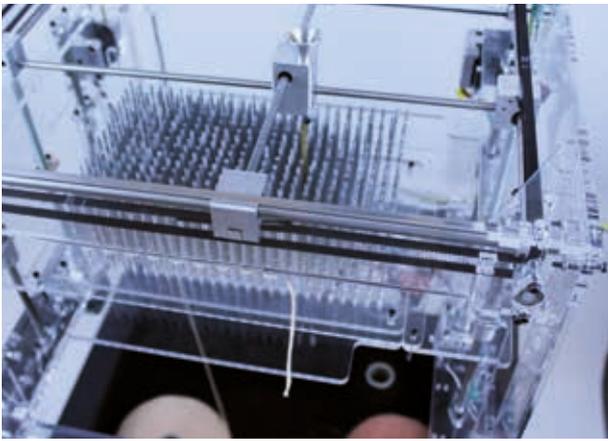
3D Glass Printing

Eine der wohl spektakulärsten Entwicklungen zur generativen Verarbeitung von Glasmassen wurde Ende 2015 von der Mediated Matter Group des MIT vorgestellt. Das 3D Glass Printing (3DGP) folgt dem FDM-Verfahrensprinzip. Es wird jedoch keine Kunststoffmasse aufgeschmolzen, sondern Glas auf die entsprechend hohen Temperaturen erhitzt. Unter Leitung von Professor Neri Oxman wurde ein Extruder in einen Ofen integriert, der die Aufnahme und Verarbeitung der Glasmasse möglich macht. Mit der Anlage sind ausdrucksstarke Schalen und Vasen mit beeindruckender Lichtreflexion entstanden.

Den ersten Glasdrucker hat Anfang 2017 das israelische Unternehmen Micron3DP auf den Markt gebracht. Mit der Anlage kann Borosilikatglas des Glasspezialisten Schott aus Mainz additiv verarbeitet werden.

Cellular Loop

In Kooperation mit dem Fraunhofer UMSICHT hat die Designerin Anke Bernotat die Leichtbaupotenziale der Natur zur Gewichtsoptimierung untersucht und den weltweit ersten additiv erzeugten Freischwinger vorgestellt. Das Möbel wurde dazu entlang seiner Konturen in identische, quaderförmige Zellen unterteilt und eine numerische Simulation der mechanischen Qualitäten durchgeführt. Das Ergebnis ist eine ideal auf die einwirkenden Kräfte ausgerichtete Geometrie, die durch Selektives Lasersintern umgesetzt wurde.



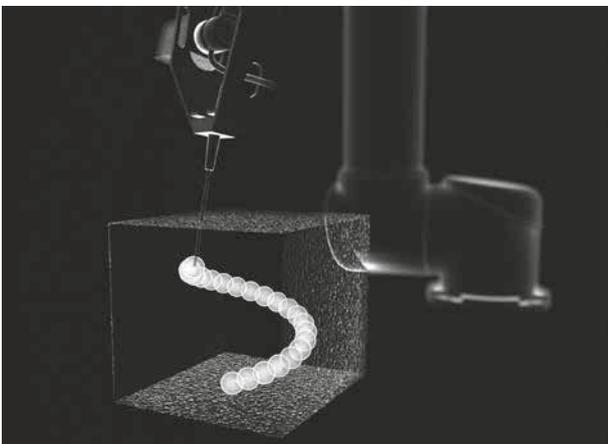
3D Weaver Loom für die Herstellung von ZigZag-Gewebe mit auxetischen Eigenschaften (Design: Oluwaseyi Sosanya, Foto: Zuzanne Weiss)

3D Weaver Loom

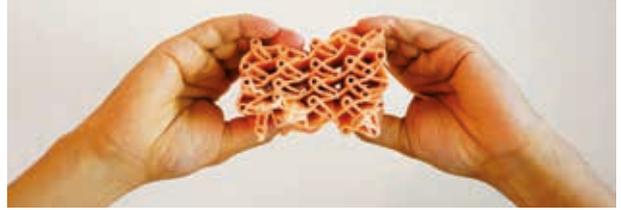
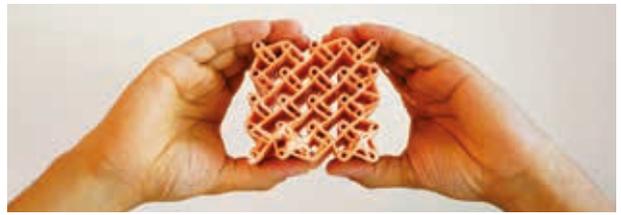
Durch Kombination von 3D-Drucken und Weben produziert der Designer Oluwaseyi Sosanya mit seinem 3D Weaver Loom hexagonale Gewebestrukturen mit auxetischen Eigenschaften. Diese lassen die Gewebestruktur Stöße von mehr als 300 Gramm standhalten und eignen sich insbesondere zur Dämpfung von wiederkehrenden äußeren Belastungen. Das ZigZag-Gewebe ist leicht sowie extrem flexibel und für Anwendungen in der Medizintechnik, der Fahrzeug- und Sportbekleidungsindustrie geeignet.

InFoam Printing

In Kooperation mit dem Chemiekonzern Covestro haben die Designer Dorothee Clasen, Adam Pajonk und Sascha Praet ein Verfahren entwickelt, um die Eigenschaften von Weichschaumstoffen durch robotergestützte Injektion von Strukturen aus einem Zweikomponenten-Polyurethan-Kunstharz zu beeinflussen. Das InFoam Printing ist sehr flexibel einsetzbar und lässt freischwebende Festkörper im Schaumstoff entstehen, die eine partielle Versteifung bewirken. Die verschiedenen Härtegrade können das Sitz- beziehungsweise Liegeverhalten von Polstermöbeln und Matratzen gezielt verbessern. Unter Druck ließe sich beispielsweise auch eine Verdrehung hervorrufen.

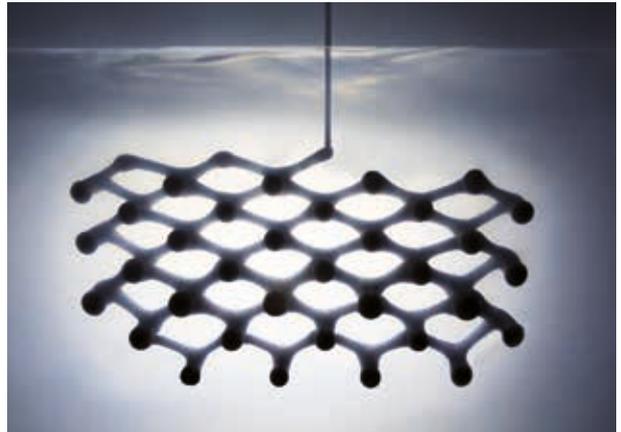


InFoam Printing (Design: Adam Pajonk, Dorothee Clasen, Sascha Praet; Quelle: Covestro)



Rapid Liquid Printing

Einen ähnlichen Ansatz zum InFoam Printing wählten Wissenschaftler am Massachusetts Institute of Technology (MIT). Beim Rapid Liquid Printing wird allerdings nicht Material in einen Weichschaumstoff eingebracht, sondern es wird ein Gel als stützende Materialgrundlage für einen Druck in den Raum benutzt. Das Gel erlaubt es, Strukturen vollkommen ohne Restriktionen in den Raum zu drucken. Nach wenigen Minuten reagiert das Druckmaterial mit dem Gel und es entstehen Gitterstrukturen, die sich im Möbelbau hervorragend einsetzen lassen.



Rapid Liquid Printing (Quelle: MIT Self-Assembly Lab, Christophe Guberan)

Liquid Printed Bag (Quelle: MIT Self-Assembly Lab, Christophe Guberan)





Metsidian Table (Design: Janne Kytanen)

Metsidian Table

Mit dem Metsidian Table kreierte der finnische Designer Janne Kytanen mit Hilfe einer Verbindung aus einer 3D-gedruckten Struktur und dem Explosionsschweißen ein Möbel aus Kupfer und dem Vulkangestein Obsidian. Das Explosionsschweißen kommt dann zum Einsatz, wenn Materialien nur unter Einsatz hoher Temperaturen zu verschweißen sind. Während der Schmelzpunkt von Kupfer bei knapp unter 1.100 Grad Celsius liegt, schmelzen Vulkangesteine in der Regel erst bei Temperaturen von weit über 1.400 Grad Celsius.

3.3.8 Nahrungsmittelindustrie

Eine Markterweiterung von 3D-Druckverfahren hat 2014 mittels sogenannter Food-Printer auch im Nahrungsmittelbereich stattgefunden. Die Kosten der Anlagen liegen im vierstelligen Bereich, so dass sich der Betrieb einer Anlage zunächst nur im Gastronomiebereich und zur Anfertigung besonderer Produkte rechnen wird. Hierzu zählen insbesondere individuelle Backwaren, Torten oder Pralinen sowie Skulpturen aus Zucker oder Schokolade. Der italienische Nahrungsmittelkonzern Barilla hat eine Anlage für den 3D-Druck von Pasta auf den Markt gebracht. In den USA wird an einer Technologie zur Fleischproduktion durch den Druck von tierischen Muskelzellen gearbeitet.

Marktpotenzial

Aufgrund des jungen Marktes ist seine Entwicklung und das gesamte Potenzial nur schwer einzuschätzen. Im Gastronomiebereich werden sich mit Food-Printern neue Geschäftsmodelle realisieren lassen, die bis in den Bereich der Erlebnisgastronomie reichen. Im Jahr 2016 wurde unter dem Namen Food INK. von einem Start-up-Unternehmen aus London das erste Pop-Up-Restaurant für 3D-gedrucktes Essen eröffnet. Die Verwendung im Privatgebrauch ist sicherlich an den Anlagenpreis und die Verfügbarkeit der Zutaten gekoppelt. Niederländische Wissenschaftler sehen für Food-Printer vor allem das Potenzial bei der Bereitstellung von Lebensmitteln mit personalisiertem Nährstoffgehalt im medizinischen Bereich. So könnten dem Essen in Zukunft besondere Nährstoffe oder Omega-3-Fettsäuren hinzugefügt werden. Zudem ließe sich der Druck von Lebensmitteln mit nachhaltigeren kalorischen Quellen ermöglichen, indem beispielsweise Algenproteine anstelle von ressourcenintensiven tierischen Proteinen verarbeitet würden. Dies böte neben den wirtschaftlichen Potenzialen auch Möglichkeiten zur Reduzierung von Treibhausemissionen durch die Viehzucht.

Projekte und besondere Entwicklungen

Sugar Lab / ChefJet

Als einer der ersten großen Anlagenhersteller ist 3D-Systems im Herbst 2013 in den sich derzeit entwickelnden Markt der Food-Printer eingestiegen. Das Unternehmen übernahm das von einem amerikanischen Designer und einer Architektin betriebene Sugar Lab in Los Angeles, nachdem diese im Mai 2013 mit einer Ausstellung von gedruckten Zuckerskulpturen für großes Aufsehen gesorgt hatten. Diese hatten die beiden Gestalter unter Verwendung eines Color Jet Printers auf Basis von pulverförmigem Zucker und eingefärbtem essbarem Bindemittel erzeugt. Im Januar 2014 hat 3D-Systems auf der Elektronik-Messe CES in Las Vegas den ersten ChefJet präsentiert. Die Basisvariante wird vornehmlich Bäckereien, Pralinenläden und ausgefallenen Gastronomien angeboten.

Foodini / Natural Machines

Nachdem die NASA 2013 das Konzept eines Pizza-Druckers präsentiert hatte, hat sich das Start-up Natural Machines aus Barcelona aufgemacht, mit Foodini einen ersten Pizza-Drucker anzubieten. Neben der italienischen Spezialität kann der Foodini grundsätzlich für alle Speisen verwendet werden, bei denen eine pastöse Masse für das Anrichten benötigt wird oder wo unter Wärmeeinfluss die Zutaten aufgeschmolzen werden können. So eignet sich der Foodini ebenso für Gebäckwaren wie für Kekse, Skulpturen aus Schokolade oder Gerichte mit Hackfleisch. Die Zutaten werden in einem beheizbaren Edelstahlzylinder bereitgestellt und mit einer Spritze aufgebracht. Je nach Konsistenz der Masse werden die Kartuschen unter Druck gesetzt. Rezepte für einzelne Gerichte stehen zum Download im Internet zur Verfügung.

Pasta-Drucker / Barilla

In Zusammenarbeit mit dem niederländischen Forschungsinstitut TNO aus Eindhoven hat der italienische Nudelhersteller Barilla einen 3D-Drucker für Nudeln entwickelt und diesen Mitte 2016 der Öffentlichkeit präsentiert. Anwendung soll dieser aber nicht in der Massenherstellung finden, sondern für den privaten Gebrauch oder für den Einsatz im Restaurant genutzt werden. In Analogie zu einigen Kaffeeautomaten arbeitet der Drucker mit Teigpatronen, die die Zutaten für unterschiedliche Teigwaren enthalten. Mit dem Pasta-Drucker können 15 bis 20 Nudeln innerhalb von zwei Minuten hergestellt werden, deren Form sich mit konventionellen Methoden nicht realisieren lassen.



Pizzadrucker Foodini (Quelle: Natural Machines)

Formveränderliche Nudeln

Am MIT in den USA werden derzeit Anwendungsfelder formveränderlicher 3D-gedruckter Geometrien für die Lebensmittel- beziehungsweise Transportindustrie untersucht. Die Idee ist es, Nudelteig mit unterschiedlichen Anteilen von Gelatine zu drucken und auf diese Weise formveränderliche Nudeln zu erzeugen. Sobald die gedruckten Nudeln mit Wasser in Berührung kommen, nimmt die Masse Feuchtigkeit auf. Weil Gelatine sich dabei stark ausdehnt, reagiert die gedruckte Nudelmasse durch Formveränderung. Im 3D-Drucker können Schicht für Schicht unterschiedliche Geometrien kreiert werden, die für ein voluminöses Aufrichten des flachen Pastaplättchens im Wasser sorgen. Die MIT-Wissenschaftler haben mit der Entwicklung die Reduzierung von Transportkosten in der Lebensmittelindustrie im Sinn. So besteht zum Beispiel eine Packung Makkaronis aus dem Supermarkt heute fast zu 50 Prozent des Verpackungsvolumens aus Luft.



3D-gedruckte formveränderliche Nudeln
(Quelle: Massachusetts Institute of Technology/MIT)

Candy2Gum

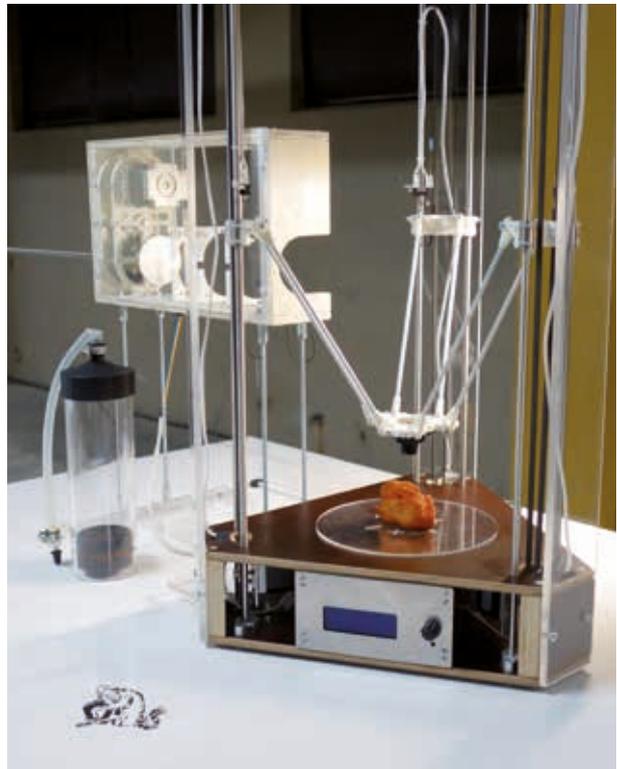
Polyvinylacetat-Festharze sind wichtige Bestandteile in Kaugummirohmassen. Wacker Chemie hat nun Rezepturen für Kaubonbons entwickelt, die sich für die Verarbeitung mit einem 3D-Drucker eignen. Mit Hilfe eines neuartigen Kochprozesses werden wasserbasierte, fetthaltige und natürliche Inhaltsstoffe zunächst zu Kaugummi verarbeitet. Dieses lässt sich dann mit einem eigens entwickelten 3D-Drucker in dreidimensionale Formen bringen. Der Prozessablauf wurde so weit optimiert, dass auch die weichen Bestandteile eines Kaubonbons verarbeitet werden können. Somit lassen sich natürliche Inhaltsstoffe wie Milch, Kakao, Kaffee, Karamell, Schokolade oder Pflanzenextrakte in das Kaugummi einbringen.

Print a Drink

Den weltweit ersten 3D-Drucker für flüssige Lebensmittel und Getränke hat der Österreicher Benjamin Greimel Ende 2016 präsentiert. Mit Hilfe eines Roboterarms werden Öltröpfen in ein zähflüssiges Getränk injiziert. Auf diese Weise entstehen 3D-Cocktails als individualisierbare Kreationen im Kontext einer zukunftsweisenden Molekulargastronomie. „Print a Drink“ wurde bei der 3D Pioneers Challenge 2017 mit einem der Preise ausgezeichnet.



Print a Drink (Quelle: Benjamin Greimel, Philipp Hornung, Johannes Braumann; Foto: Philipp Moosbrugger)



Mehlwurmdrucker des Pilotprojekts „Falscher Hase – Bugs' Bunny“ (Design: Carolin Schulze)

Mehlwurmdrucker

Nahezu ein Fünftel der für die Klimaerwärmung verantwortlichen Treibhausgase werden durch die Viehwirtschaft verursacht. Einer der Hauptgründe ist die ineffiziente Umsetzung von Biomasse bei Säugetieren und Fischen. Eine Alternative wäre es, Fleisch aus Insekten zu gewinnen. Laut einer Studie der Welternährungsorganisation könnten 1.400 Insektenarten die weltweite Versorgung mit Nahrungsmitteln sichern. In Asien werden zu diesem Thema bereits Forschungsarbeiten durchgeführt. Die Designerin Carolin Schulze wurde mit dem Bundespreis Ecodesign 2015 für die Entwicklung eines Insektendruckers als Lösungsvorschlag für eine nachhaltige und ethisch vertretbare Ernährung ausgezeichnet. Zunächst produziert die Designerin eine formbare Masse aus den Insekten und überführt diese mithilfe des Druckers in eine ansprechende Form.

3.4 3D-DRUCKDIENSTLEISTER UND CONTENT-PLATTFORMEN

Aufgrund der hohen Anschaffungskosten für additive Produktionsanlagen haben sich bereits vor einigen Jahren Dienstleister am Markt etabliert. Waren diese früher vor allem für Entwicklungsabteilungen von Unternehmen tätig, die keine eigene Anlage betreiben wollten, so haben sich mit dem steigenden Interesse für die direkte additive Produktion in der Kreativwirtschaft und unter Privatpersonen nun Online-Plattformen am Markt etabliert. Hier können 3D-Teiledaten hochgeladen und der Bau mit einem bestimmten Material und der gewünschten Farbe in Auftrag gegeben werden. Einige Dienstleister unterstützen auch bei der Generierung der notwendigen Daten und bieten Kontakte zu Designern. Meist geben die Online-Druckdienste auch eine Übersicht von bereits zur Verfügung stehenden finalen Gestaltungen, die sich auswählen und persönlich konfigurieren lassen. Einige Druckdienstleister (zum Beispiel 3 Faktur, Materialise) unterstützen online auch bei der Preisfindung oder bieten die Erstellung von 3D-Druckdateien auf Basis von 2D-Skizzen an (zum Beispiel Pagu 3D).

3D-Colorprint:	www.3d-colorprint.de
3 Faktur:	www.3faktor.com
Fabberhouse:	www.fabberhouse.de
Materialise:	www.imaterialise.com
Pagu:	www.pagu-3d.de
Ponoko:	www.ponoko.com
Sculpteo:	www.sculpteo.com
Shapeways:	www.shapeways.com
Trinckle:	www.trinckle.com

Übersicht einiger Online-3D-Druckdienstleister

Die Plattformen wurden in den letzten Jahren immer mehr erweitert und benutzerfreundlicher ausgestaltet. Zudem entwickelt sich das Geschäftsmodell einiger Plattformen in eine Richtung, die für Produktdesigner und Künstler neue Vertriebsmöglichkeiten bietet. Denn diese erlauben ihnen das Hochladen von Daten und den Vertrieb der Daten unter Zahlung einer Kommission an Dritte. Es ist teilweise auch möglich, die 3D-Baupläne herunterzuladen und in einem gewissen Rahmen zu verändern.

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

Archive 3D: www.archive3d.net

(über 40.000 Datensätze,
Fokus: Möbel, Interior, Lampen, Accessoires)

Blend Swap

(über 20.000 Datensätze,
Fokus: Figuren, Interior, Accessoires)

GB3D Type Fossils: www.3d-fossils.ac.uk

(über 2.000 Datensätze,
Fokus: 3D-Modelle von Fossilien)

GrabCAD: www.grabcad.com

(über 2.580.000 Datensätze,
Fokus: technische Bauteile und Komponenten)

Smart Exchange: exchange.smarttech.com

(über 5.000 Datensätze,
Fokus: biologische Prozesse, Organe, technische Bauteile)

Thingiverse: www.thingiverse.com

(über 1.000.000 Datensätze, Fokus: Kleinteile,
Accessoires, Leuchten, Spiele)

Trimble 3D-Warehouse: 3dwarehouse.sketchup.com

(über 5.000 Datensätze, meist 3D-Architektur)

TurboSquid: www.turbosquid.com

(über 300.000 Datensätze, Gebäude,
3D-Architektur, Körper, Tiere)

Yeggi: www.yeggi.com

(über 1.300.000 Datensätze,
Fokus: technische Komponenten, Kleinteile,
Accessoires)

Übersicht einiger Content-Plattformen



MAGIE - Experimentierraum, Umsetzungswerkstatt und kreativer Begegnungsort für Gießen (Quelle: Daniel Körber und Christian Hain)

Außerdem gibt es in mehreren Städten mittlerweile das Angebot örtlicher Druckdienstleister. Die 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 des FabLabs stammt vom MIT Media Lab aus Boston. Hier wurde unter Leitung von Professor Neil Gershenfeld das erste FabLab (fabrication laboratory) im Jahr 2001 eröffnet. 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 Einzelne Zugang zu allen technischen Möglichkeiten additiver Fertigung und der notwendigen Software erhält. Die einzelnen FabLabs werden als Vereine betrieben, sind regional organisiert und 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 Einsteiger werden in der Regel so genannte 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. Makerspaces haben in Wiesbaden, Gießen (MAGIE) und Frankfurt (tactcraft) ihre Arbeit begonnen. In Frankfurt ist zudem die Gründung eines Fab-Labs unter dem Namen FabLab FFM geplant.

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 Besitzern 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 Besitzern der Drucker die Möglichkeit, Umsätze zu generieren. Bei jedem Auftrag, der über 3D-Hubs abgewickelt wird, verdienen die Plattformbetreiber aus Amsterdam mit, denn es wird eine Kommission auf den Druckpreis in Höhe von 15 Prozent erhoben. Weltweit sind mittlerweile gut 7.200 Anlagenbetreiber registriert.

3.5 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 über 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 Rechteverletzung, ohne dass es dem Nutzer 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. Grundsätzlich unterscheiden sich die Fragestellungen hinsichtlich einer privaten oder gewerblichen Nutzung eines gedruckten Bauteils oder Produkts nicht, da das Urheber- und Markenrecht in beiden Fällen gleichermaßen gültig ist. Rechtsverletzungen können dabei sowohl bei der Erfassung von Daten eines geschützten Produkts, beim Versenden bzw. Abrufen von dreidimensionalen Daten sowie bei der additiven Herstellung einer Bauteilgeometrie beziehungsweise beim Vertrieb entstehen. In einem Arbeitsbericht des Rechtsausschusses (JURI) des Europäischen Parlaments aus dem Jahr 2017 wurde der Aufbau einer globalen Datenbank für 3D-druckbare Objekte als ein möglicher Lösungsansatz genannt, um die Reproduktion von urheberrechtlich geschützten Bauteilen zu kontrollieren. Außerdem könnte eine legale Obergrenze für die Anzahl von Privatkopien für 3D-Objekte eingeführt beziehungsweise eine Abgabe zur Kompensation von Urheberrechtsverletzungen erhoben werden. In Zukunft kann die Rückverfolgung, Identifikation und Authentisierung 3D-gedruckter Bauteile unter Nutzung forensischer Zeichen erfolgen. Diese können den Objektdaten als digitale Signatur vor dem Druckprozess hinzugefügt und nach dem additiven Produktionsprozess

von 3D-Scannern zur Freigabe erfasst werden. Veränderte rechtliche Rahmenbedingungen für Unternehmen der additiven Fertigung liegen darüber hinaus seit Inkrafttreten der Europäischen Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) vor. Denn personenbezogene Daten werden bei der additiven Herstellung nicht nur im Dienstleister- und Personalmanagement verarbeitet, sondern können auch in der von individueller Produktentwicklung und datengetriebener Produktion geprägten Auftragsabwicklung anfallen. Entsprechende Maßnahmen und Anpassungen der betroffenen Prozesse sind notwendig, um den neuen datenschutzrechtlichen Anforderungen gerecht zu werden.

Urheberrecht

Durch das Urheberrecht werden ‚geistige Schöpfungen‘ einer Person geschützt, die eine gewisse Schöpfungshöhe aufweisen. Darunter werden Werke aus Literatur, Fotografie, Film und Musik ebenso verstanden wie solche aus der Wissenschaft sowie der freien und angewandten Kunst. Urheberrechte können geltend gemacht werden, ohne dass eine Schöpfung beim Patent- und Markenamt als solche angemeldet wurde. Dies betrifft im Kontext der additiven Produktion vor allem dreidimensionale Kunstwerke und Skulpturen sowie Designobjekte und Möbelstücke. Ein Kopieren für den privaten Bedarf kann zulässig sein, sofern keine offensichtlich rechtswidrig veröffentlichten Daten verwendet werden. Je nach vorliegendem Fall sind mehrere Kopien erlaubt. Das Versenden der Daten an einen Dienstleister ist allerdings nicht gestattet. Die Vervielfältigung zu gewerblichen Zwecken ohne Einwilligung des Urhebers kann geahndet werden. Dabei stellt bereits die Digitalisierung eines urheberrechtlich geschützten Werks eine urheberrechtlich relevante Handlung dar. Denn nur dem Rechteinhaber ist es erlaubt, von seinem Werk digitale Daten zu erheben beziehungsweise sie zu skalieren (VDI: Statusreport „Additive Fertigungsverfahren“, Verein Deutscher Ingenieure e.V., September 2014). Das Urheberrecht erlischt erst 70 Jahre nach dem Tod des Urhebers.



Designrecht

Das Design von Produkten und Konsumgütern kann vom Gestalter bzw. einem Unternehmen zusätzlich zum Urheberrechtsanspruch durch Eintragung beim Patent- und Markenamt geschützt werden. Die Schutzdauer eines eingetragenen Designs beträgt 25 Jahre. Neuheit und Eigenart sind Voraussetzungen für die Erteilung der Eintragung, werden durch das Amt aber nicht geprüft. Mit Verweis auf ein eingetragenes Design kann sowohl die Vervielfältigung eines Produkts, Konsumguts oder Design- bzw. Modeartikels als auch dessen Inverkehrbringen oder Gebrauch untersagt werden. Das Designrecht beeinflusst also in hohem Maße Fragen des rechtlichen Rahmens für die generative Fertigung.

Gebrauchsmusterschutz und Patentrecht

Patent und Gebrauchsmuster sind gewerbliche Schutzrechte, die einem Erfinder bzw. Unternehmen die geschützte wirtschaftliche Verwertung einer technischen Erfindung ermöglichen. Während für die Erteilung eines Patents eine deutliche Erfindungshöhe vorausgesetzt wird, spricht man bei Gebrauchsmustern lediglich von einem erfindnerischen Schritt. Der Schutzrahmen ist daher bei Patenten deutlich größer und auch die maximale Schutzdauer von 20 Jahren übersteigt die von Gebrauchsmustern mit zehn Jahren deutlich. Bei der Reproduktion von Bauteilen oder Komponenten eines Produkts durch die additive Fertigung sollten mögliche Patentschutzrechte überprüft werden. Nach dem Auslaufen eines Patents stehen die durch die im Zuge der Patentierung veröffentlichten technischen Lösungen frei zur Verfügung. Bislang ist noch nicht eindeutig geklärt, ob das Kopieren von Konstruktionsmerkmalen eines Produkts eine mittelbare Patentverletzung darstellt. Mit Blick auf die sich durchsetzende Rechtsprechung scheint das gegenständliche Kopieren von Geometriedaten auszureichen, um Schutzrechte zu verletzen (VDI: Statusreport „Additive Fertigungsverfahren“, Verein Deutscher Ingenieure e.V., September 2014).

Markenrecht

Durch das Markenrecht lassen sich die Kennzeichnung eines Produkts oder Unternehmens in Form von Bildern (Bildmarke), Wörtern (Wortmarke), deren Kombination (Wort-Bild-Marke) oder grafischen Darstellungen in zwei- und dreidimensionaler Ausführung schützen. Produkte und Güter mit geschützten Marken dürfen weder in identischer noch ähnlicher Form reproduziert, angeboten oder vermarktet werden. Da es im Zuge der steigenden Verbreitung von 3D-Druckern und Scannern zur Erfassung dreidimensionaler Geometrien auch zur Reproduktion der an einem Produkt gekennzeichneten Marken kommen kann, sind Rechtsverletzungen nicht ausgeschlossen.

Bislang sind nur einige wenige Rechtsverletzungen im Kontext der additiven Produktion bekannt geworden. Dies könnte sich aber mit dem wachsenden Markt für die generative Fertigung in den nächsten Jahren in ähnlicher Weise entwickeln, wie man es in der Musik- oder Filmindustrie zu Beginn des Jahrtausends beobachten konnte. Der Europäische Gerichtshof hat allerdings klargestellt, dass die Betreiber von Internetplattformen nicht unmittelbar durch die Zurverfügungstellung der technischen Mittel für den Verkauf markenverletzender Waren haftbar gemacht werden können. Auch der BGH hat eine Beihilfehaftung der Plattformbetreiber für Markenrechtsverletzungen Dritter abgelehnt (Leupold, Glossner 2016).

Haftungsrechtliche Fragen

Neben der möglichen Verletzung von Schutzrechten ist die Frage der Produkthaftung für den Markt mit generativ erzeugten Produkten bislang ebenfalls nicht eindeutig geklärt. Das Produkthaftungsgesetz sieht mögliche Ansprüche bei fehlerhaften Bauteilen oder Komponenten gegen den Hersteller oder Händler vor. Da die additive Fertigung die Herstellung von Produkten im privaten Umfeld auf Basis von 3D-CAD-Daten erlaubt, entstehen neue haftungsrechtliche Aspekte. In der bisherigen Rechtsprechung geht man davon aus, dass der Produzent für die Beschädigung von Rechtsgütern haftet, die auf ein fehlerhaft hergestelltes Produkt zurückzuführen sind. Während im BGH die Produzentenhaftung infolge eines verhaltensbezogenen Fehlers betont wird, stellt das europäische Produkthaftungsgesetz zur Bewertung der Haftungsfrage nicht das fehlerhafte Verhalten eines Unternehmens, sondern den Produktfehler als solchen in den Mittelpunkt der Betrachtung.

Da Konstruktion, Fabrikation und Montage bei der additiven Fertigung virtuell ablaufen und oftmals an unterschiedlichen Orten und von unterschiedlichen Personen und Unternehmen durchgeführt werden, sind die „Besonderheiten der arbeitsteiligen Produktion im besonderen Maße sichtbar“ (VDI: Statusreport „Additive Fertigungsverfahren“, Verein Deutscher Ingenieure e.V., September 2014). Es kann davon ausgegangen werden, dass im Kontext der industriellen Fertigung wie bisher der Endhersteller für Fehler im Produkt mit Blick auf die Konstruktionsverantwortung haftet und sich bei fehlerhafter Konstruktion Haftungsansprüche im Innenverhältnis ergeben. Unterschiede gibt es im Kontext der additiven Fertigung allerdings, wenn die Fertigung für eine private Person als Endverbraucher erfolgt. Hier kann der Endhersteller umfassend für die Fehler eines additiv erzeugten Produkts haftbar gemacht werden. Der Rechtsanwalt Dr. Markus Bagh rät Unternehmen, die als Ersteller von 3D-Drucken gewerblich tätig sein wollen, dazu, in den Geschäftsbedingungen einen ‚Haftungsausschluss bei print on demand‘ vorzusehen (Horsch, Florian: 3D-Druck für alle – Der Do-it-yourself-Guide. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2014).

Bislang unklar ist die Rechtsprechung in Bezug auf den Sachverhalt, ob eine Privatperson im Kontext des Produkthaftungsgesetzes durch das Betreiben einer additiven Fertigungsanlage selber zum Hersteller werden kann. Nach Paragraph 4 des Produkthaftungsgesetzes ist derjenige Hersteller eines Produkts, „der das Endprodukt, einen Grundstoff oder ein Teilprodukt hergestellt hat.“ Da der Gesetzgeber jedoch den Produktbegriff nach Paragraph 2 des Produkthaftungsgesetzes stets zusammen mit dem Herstellerbegriff sieht, haben Juristen im Falle der privaten Erzeugung eines Produkts mithilfe einer additiven Fertigungsanlage auf Basis fertiger Konstruktionsdaten Zweifel daran, ob eine haftbare eigenverantwortliche Tätigkeit einer Privatperson überhaupt vorliegen kann. Werden die Daten nicht durch eigenes Zutun verändert, kann beim Druck eines Bauteils wohl von einer reinen Montagetätigkeit nach den Vorgaben des Herstellers ausgegangen werden. Die Verantwortung würde dann beim Konstrukteur liegen (VDI: Statusreport „Additive Fertigungsverfahren“, Verein Deutscher Ingenieure e.V., September 2014).

Und auch hinsichtlich der haftungsrechtlichen Zusammenhänge bei Mangelfolgeschäden – ein selbst additiv gefertigtes Bauteil verursacht einen Schaden an der Maschine, in die es verbaut wurde – besteht derzeit noch keine Klarheit, welche Auswirkungen dies dann auf Garantie, Gewährleistung oder Schadenersatz hat.

Datenschutzrecht

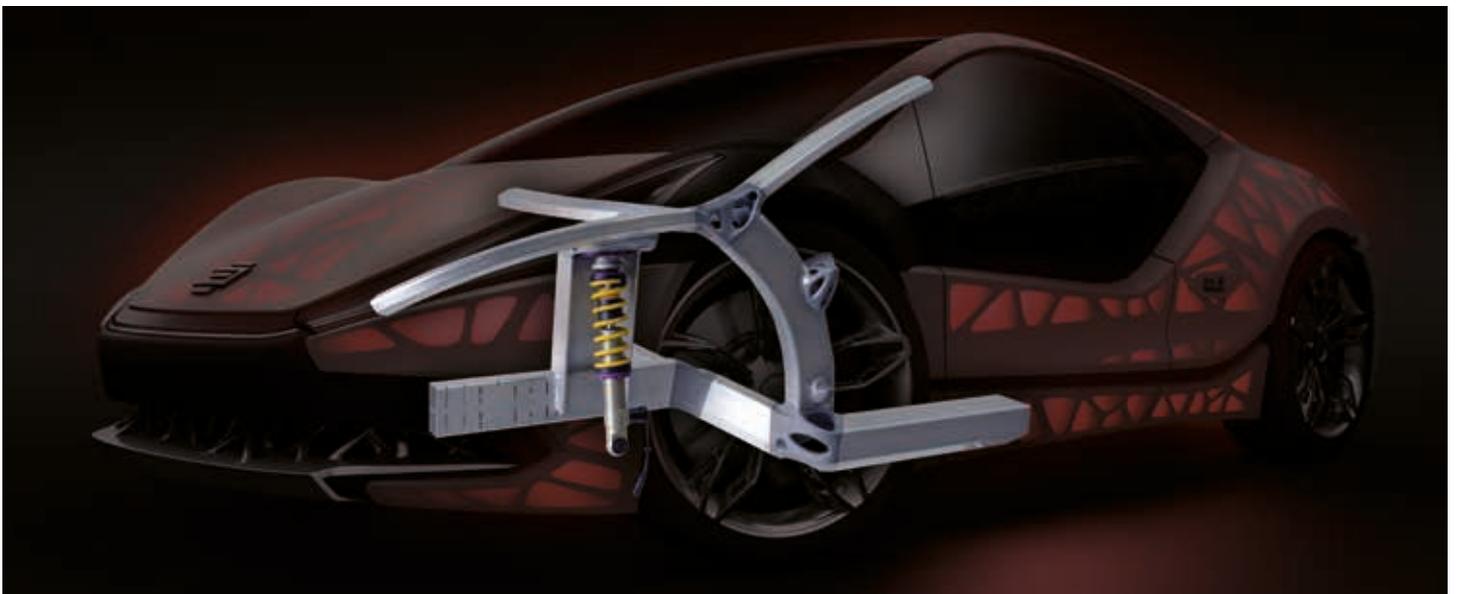
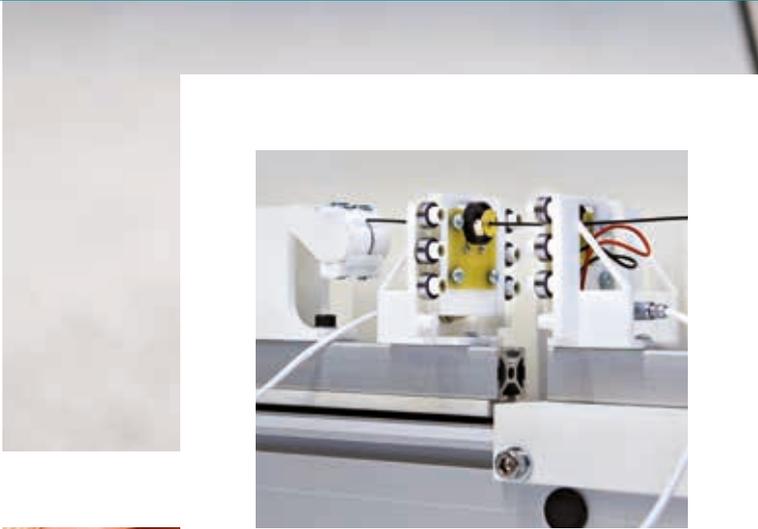
Das Datenschutzrecht baut auf dem juristischen Konzept des Allgemeinen Persönlichkeitsrechtes auf, nach dem jeder Mensch selbst entscheiden kann, wem, wann und welche seiner persönlichen Daten er zugänglich machen will. Die DSGVO bildet einen auf europäischer Ebene einheitlichen Rechtsrahmen für die Verarbeitung personenbezogener Daten. Dies betrifft jeden Vorgang im Zusammenhang mit Informationen, die sich auf eine identifizierte oder identifizierbare natürliche Person beziehen. Risiken zur Verletzung des Datenschutzrechtes entstehen im Wesentlichen durch unrechtmäßige Erhebung, nicht termingerechtes Löschen, Verlust oder unbeabsichtigte Weitergabe von Daten, das Verarbeiten fehlerhafter Daten sowie Datendiebstahl. Jedes Unternehmen muss deshalb seine individuellen Strukturen und Prozesse analysieren, um die vom Datenschutzrecht betroffenen Daten zu identifizieren und Vorkehrungen zu treffen, diese Risiken zu vermeiden.

Bei der additiven Herstellung von Produkten hängt die Tragweite der datenschutzrechtlichen Bestimmungen maßgeblich davon ab, wie und in welchem Umfang personenbezogene Daten verarbeitet werden. Inwieweit ein Unternehmen davon überhaupt betroffen ist, unterscheidet sich auch nach branchen- und fertigungsspezifischen Eigenheiten. Insbesondere in der Medizintechnik werden personenbezogene Daten – mitunter auch sensible Gesundheitsdaten, zum Beispiel beim 3D-Druck einer Zahnprothese – verarbeitet. Auch in der Lifestyle- und der Nahrungsmittelindustrie können personenbezogene Daten bis weit in den Produktionsprozess hinein vorliegen, während in der additiven Fertigung für die Automobil-, Werkzeug- und Maschinenbauindustrie die Verarbeitung von personenbezogenen Daten eher auf Bestellvorgänge oder Abrechnungen beschränkt ist. Wo Geschäftsbeziehungen nur zwischen Unternehmen üblich sind, ist der Charakter der Datenverarbeitung ein anderer als im Verkehr mit Privatpersonen, etwa bei der Herstellung von personalisierten Brillen oder Schuhen.



Ein Infolyer (2018) bietet zu diesen Fragen eine thematische Vertiefung und entsprechende Hilfestellungen, welche Maßnahmen zur Einhaltung der datenschutzrechtlichen Bestimmungen erforderlich sein könnten.

4. ADDITIVE FERTIGUNG: AUSGEWÄHLTE ERFOLGSGESCHICHTEN, POTENZIALE UND PROJEKTE AUS HESSEN



4.1	TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN: AddiFeE Additive Fertigung metallischer Bauteile für den Maschinen- und Automobilbau	64
4.2	KEGELMANN TECHNIK GMBH: AutoAdd - Automatisierung der Prozesskette zur kundenindividuellen Additiven Fertigung	65
4.3	EDAG ENGINEERING GMBH: Additiv gefertigte Leichtbaustruktur und gewichtsreduziertes Haubenscharnier mit Fußgängerschutz	66
4.4	HERAEUS ADDITIVE MANUFACTURING: Anspruchsvolle Metallpulver für die additive Produktion im Aerospace- oder Automobilbereich	68
4.5	FKM SINTERTECHNIK GMBH: Fabrik der Zukunft für das Zeitalter der additiven Fertigung	70
4.6	SAUER PRODUCT GMBH: Schnellere Markteinführung dank additiver Fertigung	72
4.7	IETEC ORTHOPÄDISCHE EINLAGEN GMBH PRODUKTIONS KG: Maßgeschneiderte Einlegesohlen für Diabetes-Patienten	73
4.8	PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG: Additive Fertigung von individuellem Zahnersatz und Kieferknochen	74
4.9	TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT: Individuelle Massenproduktion von Medizinprodukten	75
4.10	FRAUNHOFER LBF: Polymerisierbare Drucktinten für den porenarmen 3D-Druck und Piezo-Aktoren mit SLM-Gehäuse	76
4.11	HOCHSCHULE FÜR GESTALTUNG OFFENBACH: Projekte rund um additive Technologien	78
4.12	FRAME ONE: Die Individualisierung von Fahrrädern mit Hilfe additiver Produktion	79
4.13	UNIVERSITÄT KASSEL: 3D-Druck zementgebundener Formteile	80
4.14	TATCRAFT GMBH: Größter MakerSpace im Rhein-Main Gebiet	81
4.15	FRAUNHOFER IGD: Voxel-basierter 3D-Druckertreiber Cuttlefish	82
4.16	FIBERTHREE GMBH: Durch Carbonfasern zu leistungsfähigeren additiven Bauteilen	83
4.17	CONTINENTAL ENGINEERING SERVICES GMBH: Kompetenzzentrum Additive Design and Manufacturing (ADaM)	84

4.1 TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN:

AddiFeE Additive Fertigung metallischer Bauteile für den Maschinen- und Automobilbau

In der Luftfahrtindustrie sowie in der Zahn- und Medizintechnik wird das Laserstrahlschmelzen für die additive Produktion metallischer Bauteile seit einigen Jahren eingesetzt. Im Maschinenbau und in der Automobilindustrie steht eine breite Anwendung der Technologie noch bevor. Aus diesem Grund fehlen wesentliche Kenntnisse zu passenden Fertigungsparametern. Mit Fragen der Herstellung metallischer Serienbauteile für den Fahrzeugbau durch additive Produktionsverfahren befasste sich daher von 2015 bis 2017 ein Forschungsprojekt an der TH Mittelhessen.

In dem Projekt wurden Fragen nach der optimalen Schichtdicke, der Positionierung im Bauraum und der Spurbreite sowie der Energiedichte des Lasers geklärt. Für gängige Werkstoffe wie Walzstahl oder Aluminium-Druckguss gibt es seit Jahrzehnten Kennwerte für die Konstruktion und Auslegung eines Bauteils. Die Wissenschaftler konnten in dem Projekt nun auch zuverlässige Werkstoffkennwerte für die additive Fertigung ermitteln. Besonders hervorzuheben ist die erstmalige Ermittlung zyklischer Werkstoffkennwerte (zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurve und Dehnungs-Wöhlerlinie) für additiv gefertigtes Aluminium zur Nutzung in Praxis und Wissenschaft.



Ermittlung von Werkstoffkennwerten im Projekt AddiFeE (Quelle: TH Mittelhessen, Foto: HA Hessen Agentur GmbH, Jan Michael Hosan)

„Dabei ging es bei den Untersuchungen um mechanische Eigenschaften wie zum Beispiel Zugfestigkeit, Steifigkeit und Elastizität, Zähigkeit oder Porosität“, führt Professor Heinrich Friederich aus. Das Partnerkonsortium konnte dabei Parametersätze für additiv gefertigtes Aluminium (AlSi10Mg) und additiv gefertigten Werkzeugstahl (1.2709) ermitteln. Die Zusammenhänge zwischen Fertigungsparameter und Produkteigenschaften konnten grundlegend geklärt werden, was sich in Zukunft positiv auf die Bauteilqualität vor allem bei sicherheitsrelevanten

Teilen auswirken wird. Am Beispiel mehrerer Teile für Pkw-Klimaanlagen (-kompressoren), die im Projekt als Prototypen additiv hergestellt und getestet wurden, konnten Qualität und Praxistauglichkeit explizit nachgewiesen werden. Diese Möglichkeit ist nun auch für andere Unternehmen und Anwendungen direkt nutzbar.

„Wir haben die Ergebnisse in einer konkreten Handlungsanweisung zusammengefasst, nach der diese Bauteile mit zuverlässigen und reproduzierbaren Eigenschaften hergestellt werden können. Sie dient den Konstrukteuren als Mittel für die sichere Auslegung von Bauteilen mit hoher Prozesssicherheit und Qualität“, fasst Professor Udo Jung vom Kompetenzzentrum für Automotive, Mobilität und Materialforschung (kurz AutoM) zusammen. Im 2017 erschienenen Fachbuch „Additive Fertigung von Bauteilen und Strukturen“ (Springer-Verlag, 2017) sind die wesentlichen Ergebnisse des Projekts im Übersichtskapitel „Rapid Prototyping im Maschinen- und Automobilbau - Ermüdungseigenschaften additiv gefertigter Bauteile“ dargestellt.

Das Forschungsvorhaben der Technischen Hochschule Mittelhessen THM hatte bei einer Dauer von zwei Jahren ein Gesamtvolumen von 415.000 Euro. Partner der Hochschule waren FKM Sintertechnik aus Biedenkopf, Sanden International (Europe) mit Sitz in Bad Nauheim, Henkel Modellbau aus Breidenstein und das Fachgebiet Werkstoffmechanik der TU Darmstadt. Das Land Hessen förderte das Vorhaben mit 300.000 Euro im Rahmen der hessischen „Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz“ (LOEWE).

Dieses Projekt (HA-Projekt-Nr.: 464/15-06) wurde im Rahmen der LOEWE - Landesoffensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben gefördert.



Technische Hochschule Mittelhessen

Prof. Dr.-Ing. Udo Jung
Kompetenzzentrum für Automotive, Mobilität und Materialforschung (AutoM)
Am Dachspfad 10, 61169 Friedberg
Telefon: +49 6031 604 337
E-Mail: udo.jung@autom.thm.de
www.m.thm.de

4.2 KEGELMANN TECHNIK GMBH:

AutoAdd - Automatisierung der Prozesskette zur kundenindividuellen Additiven Fertigung

Das Projektziel von AutoAdd umfasst den Aufbau bzw. die Implementierung einer digitalen, automatisierten und durchgängigen Prozesskette zur kundenindividuellen additiven Fertigung. AutoAdd wurde im Rahmen der Fördermaßnahme LOEWE 3 des Landes Hessen zur Förderung empfohlen und am 1. Juli 2016 gestartet. Die Partnerunternehmen Kegelmann Technik GmbH (Rodgau, Jügesheim) und :em engineering methods AG (Darmstadt) bauen in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, im Rahmen des Projektes eine digitale, automatisierte und durchgängige Prozesskette zur kundenindividuellen additiven Fertigung auf.



Referenzprojekte der additiven Fertigung wie zum Beispiel eine Pkw-Tür (Quelle: Kegelmann Technik GmbH)

Dieses demonstriert sämtliche Vorgänge vom Eingang von Kundenaufträgen, über die rechnerinterne Verarbeitung der Aufträge und das Pre-Processing von CAD-Daten zur Fertigungsvorbereitung über die Fertigung und das Post-Processing, bis hin zum Vertrieb, zur Auslieferung, Zustellung und Verteilung der additiv gefertigten Bauteile. Durch AutoAdd erfährt der Kunde eine Kostenverringerung bei der Beschaffung additiver Bauteile und die Auftragsabwicklungszeit verkürzt sich deutlich. Die Möglichkeit, an individualisierte Bauteile zu gelangen, wird für den Kunden deutlich vereinfacht. Das enorme Marktpotenzial der additiven Fertigung und die steigende Nachfrage nach kundenindividuellen Produkten erstrecken sich über alle bekannten Branchen. Vom Flugzeugbau, über die Automobilindustrie, den Maschinen- und Anlagenbau bis hin zum Consumer-Markt werden alle von einer derartigen neuen Prozesskette und Auftragsabwicklung profitieren.

Zur Validierung des entwickelten Gesamtsystems werden typische, repräsentative Bauteile verwendet. So wird gewährleistet, dass eine marktreife Lösung entwickelt wird. Nach erfolgreicher Entwicklung und Validierung des prototypischen Softwaredemonstrators wird dieser im realen Einsatz mit Kundenaufträgen getestet. Ziel ist es, direkt nach Projektende die erarbeiteten Lösungen auf weitere Verfahren zu adaptieren, um so einen breiten Markteintritt zu erreichen und letztlich den Standort Hessen zu stärken.



Entnahme von Bauteilen aus dem Bauraum nach dem Lasersintern (Quelle: Kegelmann Technik)

Dieses Projekt (HA-Projekt-Nr.: 500/16-12) wurde im Rahmen der LOEWE - Landesoffensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben gefördert.



Kegelmann Technik GmbH

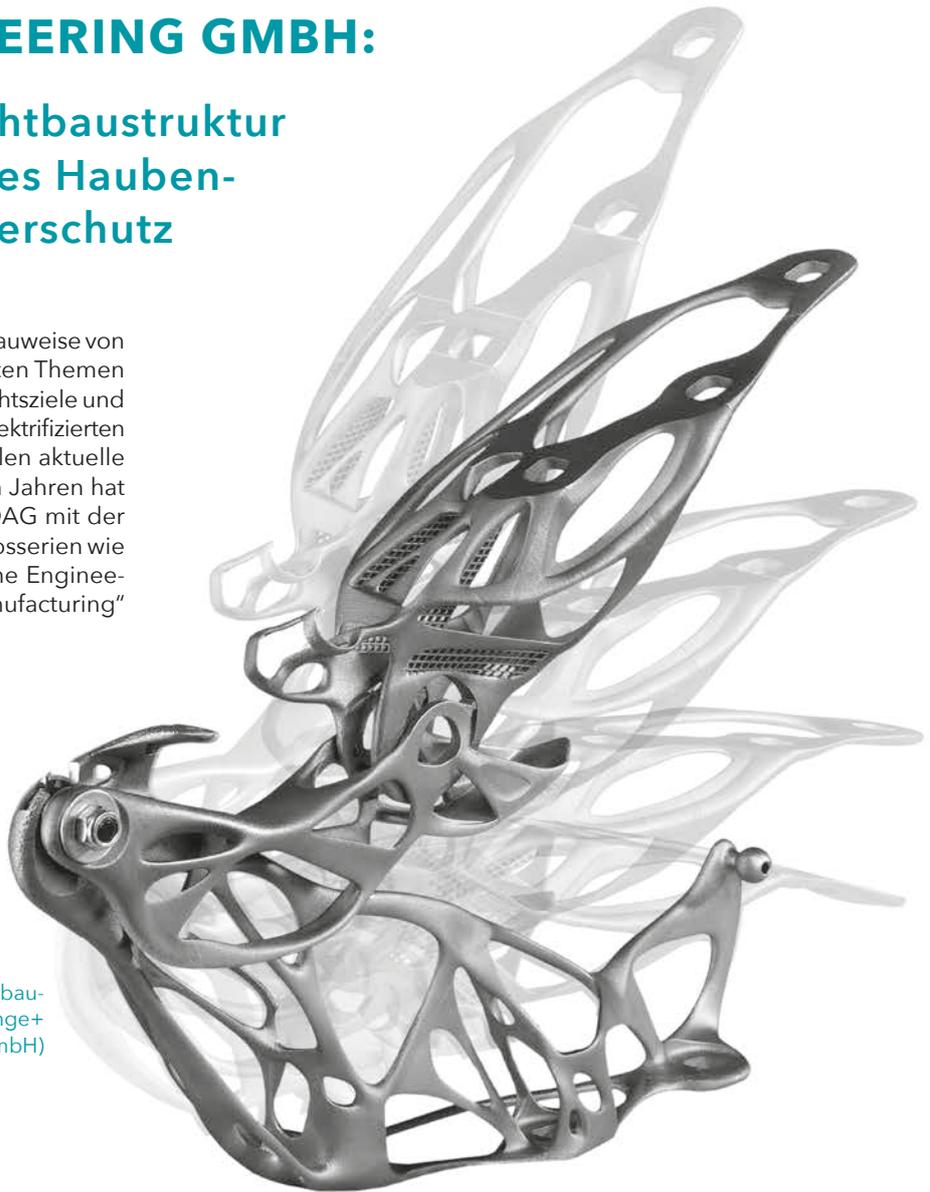
Stephan Kegelmann, Geschäftsführer
Gutenbergstraße 15, 63110 Rodgau-Jügesheim
Telefon: +49 6106 8507-10
E-Mail: info@ktechnik.de
www.ktechnik.de

4.3 EDAG ENGINEERING GMBH:

Additiv gefertigte Leichtbaustruktur und gewichtsreduziertes Haubenscharnier mit Fußgängerschutz

Die kontinuierliche Verbesserung der Leichtbauweise von Fahrzeugen ist eines der strategisch relevanten Themen der Automobilindustrie. Ambitionierte Gewichtsziele und die Markteinführung einer ganzen Palette an elektrifizierten Fahrzeugen in den kommenden Jahren stellen aktuelle Treiber für den Leichtbau dar. In den letzten Jahren hat der Wiesbadener Engineering Spezialist EDAG mit der Entwicklung additiv gefertigter Fahrzeugkarosserien wie der Studien Genesis und Light Cocoon seine Engineering-Kompetenzen im Bereich „Additive Manufacturing“ ausbauen können.

Additiv gefertigtes Leichtbau-Haubenscharnier LightHinge+ (Quelle: EDAG Engineering GmbH)



2017 hat EDAG die Entwicklung eines ultraleichten Spaceframe-Konzepts als Technologieplattform unter Einsatz additiver Fertigungsmethoden weiter fortgesetzt. Auf der IAA 2017 in Frankfurt wurde der „NextGenSpaceframe 2.0“ als intelligentes Baukastensystem mit bionisch gestalteten und additiv gefertigten Knoten in Kombination mit Strangprofilen vorgestellt. Das Konzept bietet eine extrem flexible Fertigung, um die steigende Anzahl von Fahrzeugderivaten auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten darstellen zu können. Es wurde komplett mit dem Werkstoff Aluminium ausgeführt und zeigt weitere Einsparpotenziale beim Gewicht auf.

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



EDAG Light Cocoon Studie (Design: EDAG Engineering GmbH)

Die Leichtbaustruktur wurde werkzeugarm und on demand gefertigt und von EDAG gemeinsam mit Constellium (Singen), Siemens PLM Software (Köln), dem Laser Zentrum Nord (Hamburg) und Concept Laser (Lichtenfels) sowie den assoziierten Partnern der BLM Group (Levico, Italien), KW Automotive (Fichtenberg) und 3M (Neuss) entwickelt. Dabei wurde erstmalig in der Entwicklung eine Software für ein durchgängiges Engineering der additiv gefertigten Karosserie-Knoten und der Aluminium-Strangpressprofile eingesetzt.

Um die additiv gefertigten Karosserie-Knoten mit den Aluminium-Profilen in Mehrkammertechnik zu verbinden, können zum Beispiel das Laserstrahlschweißen oder Kleben eingesetzt werden. Für Letzteres sind auch artverschiedene Werkstoffe möglich. In Versuchen und Berechnungen konnte exemplarisch im Längsträgerbereich nachgewiesen werden, dass die Crashbereiche des „Spaceframe“ kontrolliert Energie absorbieren und der Knoten strukturell nicht versagt. Bei der Weiterentwicklung wurden die Produktionskosten durch Minimierung der Stützstrukturen innerhalb des Knotens weiter reduziert. Die durchgängige Engineering-Datenprozesskette hat dazu beigetragen, sowohl eine wesentlich höhere Performance in der Entwicklung als auch in der Fertigung zu erreichen. Im Vergleich zu marktüblichen Fahrzeug-Leichtbaustrukturen konnte das Gewicht um weitere 20 Prozent für High-End-Fahrzeuge und Supersportwagen reduziert werden.

In einem weiteren Projekt hat EDAG mit Partnern ein Leichtbau-Haubenscharnier mit integriertem Fußgängerschutz unter dem Namen „LightHinge+“ entwickelt und unter Einsatz additiver Produktionstechniken auch dort eine enorme Gewichtseinsparung von 50 Prozent gegenüber der Referenz erzielt. Das Scharnier entstand in Zusammenarbeit mit „voestalpine Additive Manufacturing“ (Düsseldorf) und mit „Simufact Engineering“ (Hamburg).

Mit Hilfe von Topologie-Optimierung und der Anwendung bionischer Bauprinzipien ist es gelungen, den minimalen Materialbedarf zu ermitteln. Die Leichtbau-Struktur wurde so weiterentwickelt, dass bei der Fertigung mittels Laserstrahlschmelzen durch den Partner voestalpine ein sehr geringer Stützstrukturbedarf und damit nur minimale Nachbearbeitung notwendig ist. Zusätzlich konnte der fertigungsbedingte Wärmeverzug des Bauteils durch eine Vorverformung der Geometrie mittels einer Simulationssoftware kompensiert werden.

Ein besonderes Merkmal des „LightHinge+“ stellt die Integration der aktiven Haubenfunktion dar. Kollidiert ein Fußgänger mit dem Fahrzeug, wird ein pyrotechnischer Aktuator ausgelöst, der auf einen definierten Bereich am Scharnier trifft. An dieser Stelle sind komplexe Losbrechstrukturen monolithisch integriert, die unter Kräfteinwirkung ein zusätzliches Gelenk freigeben und somit die Anhebung der Motorhaube ermöglichen. Der Aufprall des Fußgängers wird somit durch den entstehenden Freiraum abgefedert. Das „LightHinge+“ vereint Sicherheit, Leichtbau und ein fertigungsgerechtes Design.



EDAG Engineering GmbH

Dr. Martin Hillebrecht
Leiter CC Leichtbau, Werkstoffe & Technologie
Reesbergstraße 1, 36039 Fulda
Telefon: +49 661 6000-610
E-Mail: info@edag.de
www.edag.de

4.4

HERAEUS ADDITIVE MANUFACTURING:

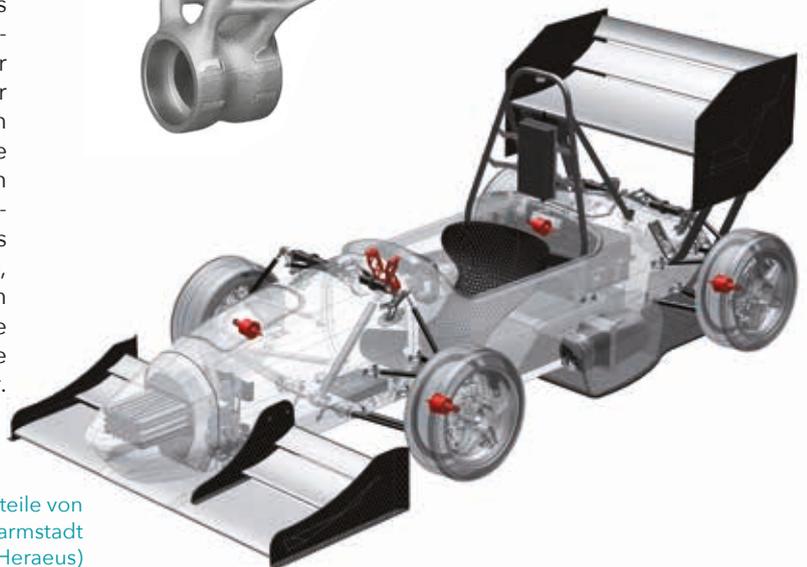
Anspruchsvolle Metallpulver für die additive Produktion im Aerospace- oder Automobilbereich

3D-gedruckter Lenkwellenhalter für Studenten-Rennwagen bringt 50 Prozent Gewichtsreduzierung

Gleich fünf superleichte 3D-gedruckte Bauteile von Heraeus stecken im neuen Rennwagen der TU Darmstadt für die Rennserie Formula Student 2017. Ein Lenkwellenhalter aus der Aluminiumlegierung AlSi10Mg ist dabei fast 50 Prozent leichter als das Vorläufermodell. Der exakt auf die Anforderungen des TU Darmstadt Racing Teams hin von Heraeus entworfene und additiv erzeugte Lenkwellenhalter wiegt bei gleichbleibender mechanischer Festigkeit und Stabilität nur noch knapp 300 Gramm. „Wir haben das Bauteil komplett neu konstruiert und durch Simulation immer weiter optimiert, um die maximale Gewichtsreduktion zu erreichen. Die Kombination von Materialkompetenz, Konstruktionsexpertise und Druck-Know-how war ausschlaggebend dafür, dass wir dieses ehrgeizige Ziel erreicht haben“, erläutert Tobias Caspari, Leiter Heraeus Additive Manufacturing. Für den neuen Rennwagen der TU Darmstadt wurden zudem für jede Radaufhängung insgesamt vier Motorwellen gedruckt, die ebenfalls rund 50 Prozent leichter sind als ihre Vorgänger.



Additiv erzeugte Lenkwellenhalter (Quelle: Heraeus)



Gleich fünf superleichte 3D-gedruckte Bauteile von Heraeus stecken im neuen Rennwagen der TU Darmstadt für die aktuelle Rennserie Formula Student (Quelle: Heraeus)

Seit 2015 entwickelt der Hanauer Technologiekonzern anspruchsvolle Metallpulver und die zugehörigen Prozesse für den 3D-Druck. Zum Portfolio gehören amorphe Metalle (metallische Gläser), Edelmetalle (Gold-, Silber- und Platinlegierungen), hochschmelzende Refraktärmetalle wie Molybdän, Niob oder Tantal, verschiedenste Metalllegierungen sowie bioresorbierbare Materialien und Gradientenwerkstoffe. Speziell die Bereitstellung von Refraktärmetallpulvern für die additive Fertigung ist für die Metalldrucktechnologie absolutes Neuland, denn diese Materialien benötigen so hohe Temperaturen (bis 2.500 °C), dass rein physikalisch nur wenige Unternehmen überhaupt damit arbeiten können. Heraeus entwickelt, liefert und qualifiziert die passenden Pulver für den schichtweisen Aufbau von Bauteilen für die industrielle Fertigung. Material- und Prozess-Know-how sind dabei entscheidend, denn Metallpulver und Druckprozess müssen perfekt aufeinander abgestimmt sein.



Heraeus entwickelt, liefert und qualifiziert die passenden Metallpulver für die additive Fertigung (Quelle: Heraeus)



Das 3i-Print-Projekt zeigt an der Vorderwagenstruktur eines alten VW Caddy das volle Potenzial des industriellen 3D-Drucks für die Automobilindustrie (Quelle: csi entwicklungstechnik)

Heraeus ermöglicht zudem die komplexe Formgebung von amorphen Metallen. Diese auch als metallische Gläser bekannte innovative Werkstoffklasse ist für ungewöhnlich viele Hightech-Anwendungen geeignet. Amorphe Metalle sind schockabsorbierend, kratzfest und haben daneben auch noch sehr gute Federeigenschaften – interessant zum Beispiel für Membranen bei Einspritzdüsen, Gehäuse für die Unterhaltungselektronik oder als Lautsprecherkalotten.

„3D-Druck wird in Zukunft für viele Bereiche die Technologie der Wahl sein. Im Aerospace- oder Automobilbereich ermöglicht additive Fertigung Gewichtseinsparungen, die über eine klassische Form nicht mehr erreichbar sind. Es können viel leichtere und dennoch stabile Funktionsteile mit völlig neuen Designmöglichkeiten hergestellt werden. Gleichzeitig sparen wir Ressourcen ein, und wir können überschüssiges Pulver wieder recyceln“, sagt Caspari.

Die Anwendungsvielfalt reicht von additiv aus aushärtbaren Aluminium-Guss-Legierungen gefertigten und gewichtsreduzierten Lagerschilden für Rennwagen der Rennserie Formula Student bis hin zur ressourcenschonenden Fertigung von Steuerröhrchen aus Platinlegierungen für Satelliten. Zu den aktuellen Kooperationen von Heraeus zählt das 3i-Print-Projekt, bei dem am Beispiel der Vorderwagenstruktur eines alten VW Caddy das volle Potenzial des industriellen 3D-Drucks für die Automobilindustrie gezeigt wird. Bei einem weiteren Projekt mit der Firma Moog werden Hydraulik-Steuerblöcke für Roboteranwendungen (beispielsweise Bergungsroboter) additiv gefertigt. Für die Produktion der Bauteile lieferte und qualifizierte Heraeus die technisch hochfeste Aluminium-Legierung Scalmalloy®. Am Beispiel einer Hydraulikanwendung wird zudem gezeigt, wie die additive Fertigung für Metalle sich auf den Weg zur wirtschaftlichen Industrialisierung und Serienfertigung macht. Im Rahmen eines Gemeinschaftsprojektes wurde hierbei ein hydraulisches Servo-Ventil von Bosch Rexroth, Spezialist für Antriebs- und Steuerungstechnologie, optimiert. Partner waren neben Heraeus als Pulverspezialist mit umfassenden Materialkenntnissen auch der Anlagenhersteller Trumpf mit seiner Industrialisierungskompetenz.

Rennserie „Formula Student“

Die Rennserie „Formula Student“ ist ein internationaler Konstruktionswettbewerb, bei dem Studententeams aus der ganzen Welt mit selbst konstruierten und gefertigten Rennwagen gegeneinander antreten. Erstmals als Formula SAE 1981 in den USA ausgetragen, kam die Rennserie 1998 als Formula Student nach Europa. Die Technische Universität (TU) Darmstadt hat eigens für den Zweck der Teilnahme an der Formula Student einen Verein gegründet: den TU Darmstadt Racing Team e.V. (DART). Er ist zugleich ein als gemeinnützig anerkannter Verein sowie Hochschulgruppe der TU Darmstadt.



Heraeus Holding GmbH

Tobias Caspari
 Leiter Heraeus Additive Manufacturing
 Heraeusstraße 12-14, 63450 Hanau
 Telefon: +49 6181 35-0
 E-Mail: pr@heraeus.com
 www.heraeus.com

4.5 FKM SINTERTECHNIK GMBH:

Fabrik der Zukunft für das Zeitalter der additiven Fertigung

Seit mehr als 20 Jahren ist FKM Sintertechnik auf dem Gebiet des Lasersinterns als Anbieter aktiv. Dabei versteht das Unternehmen Lasersintern schon lange als vollwertiges Produktionsverfahren weit über den Prototypenbau hinaus. Mit der Eröffnung seines neuen Werks im Juli 2014 in Biedenkopf bei Marburg startete das Unternehmen eine vollwertige Fabrik mit Lasersinteranlagen und brachte damit das ‚Additive Manufacturing‘ auf das Niveau einer industriellen Fertigung. Das Besondere: Die neue Produktion wurde durchgängig nach industriellem Maßstab aufgebaut, unter Beachtung anspruchsvoller ökologischer Prinzipien. So wird beispielsweise der Energiebedarf mit Ökostrom gedeckt und durch konsequente Rückgewinnung von Wärmeenergie aus dem Produktionsprozess kommt die Fabrik ohne Heizungsanlage aus. Die zurückgewonnene Energie reicht dabei sowohl zur Bereitung von warmem Brauchwasser als auch der Beheizung des Gebäudes bis zu einer Außentemperatur von -15 Grad Celsius aus.

Das Herzstück bildet eine Fertigungshalle von rund 3.700 Quadratmetern mit 39 Lasersinteranlagen für die Herstellung einbaufertiger Kunststoff- und Metallbauteile. Die Anlagen werden ausgehend von mehreren Silos mit zentraler Verteilerstation über einen geschlossenen Kreislauf vollautomatisiert mit Pulvermaterial versorgt. Sämtliche vor- und nachgeschalteten Be- und Verarbeitungsprozesse erfolgen in einer prozessoptimierten Infrastruktur. Eine flexible Produktionssteuerung managt und überwacht alle Abläufe von der Gütekontrolle des angelieferten Pulvermaterials bis zur Qualitätssicherung der fertigen Sinterteile. „So gewährleisten wir eine optimale Nutzung der Anlagen und der Kunde profitiert von kürzeren Vorlauf- und Lieferzeiten“, erläutert Jürgen Blöcher, geschäftsführender Gesellschafter der FKM Sintertechnik.



Neue Laserfabrik in Biedenkopf (Quelle: FKM Sintertechnik GmbH)



Fertigungshalle mit 39 Lasersinteranlagen und automatisierter Steuerung der Materialkreisläufe (Quelle: FKM Sintertechnik GmbH)

Abhängig von den individuellen Kundenanforderungen können unterschiedliche Materialien für die Fertigung eingesetzt werden. Polyamide wie PA 11 und PA 12, das flexible Elastomer TPU (thermoplastisches Polyurethan) mit seinen kautschukähnlichen Eigenschaften oder das chemikalien- und hitzefeste Polyetheretherketon PEEK HP3 sind im Kunststoffbereich nutzbar. Bei den Metallen stehen Werkzeugstahl, Edelstahl und Aluminium ebenso zur Verfügung wie Cobalt-Chrom zum Beispiel für dentale Anwendungen und das extrem umgebungsresistente Inconel 718, eine Nickel-Chrom-Legierung für Hochtemperatur-Anwendungen, zum Beispiel für Turbolader oder Turbinenschaufeln.

Ein aktuelles Beispiel für den Einsatz der additiven Fertigung in den Bereichen Kleinserie, Individualisierung und Ersatzteile ist das mehrteilige Ablagefach für Geldscheine, das in Stadtbussen von Mercedes-Benz in die Seitenverkleidung auf der linken Seite des Fahrerplatzes integriert wird. Dieses komplexe Bauteil besteht aus Gehäuse mit Einlegefächern und Deckel. Scharnier, Montageclipse und Griff sind integriert. Es wird in „einem Stück“ additiv im Lasersinter-Verfahren hergestellt. Anschließend wird die Oberfläche geglättet und anthrazit gefärbt. Damit entspricht das Bauteil den vorgegebenen Produktionsstandards, vergleichbar üblicher Produktionsverfahren. In konventioneller Bauweise wäre die Fertigung der Einzelteile mit mehreren aufwändigen Kunststoff-Spritzguss-Werkzeugen sowie im Anschluss das Zusammenfügen der Einzelteile erforderlich.

Die Kostenvorteile ergeben sich durch den Entfall von Spezialwerkzeugen in der Produktion sowie die nicht mehr notwendige Vorratshaltung. Individuelle Bauteile und Ersatzteile können in genau der gewünschten Stückzahl wirtschaftlich und schnell produziert werden.



Additiv erzeugtes Bauteil für ein Ablagefach aus Polyamid (Quelle: FKM Sintertechnik GmbH)



FKM Sintertechnik GmbH

Jürgen Blöcher
Geschäftsführer
Zum Musbach 6, 35216 Biedenkopf
Telefon: +49 6461 75852-10
E-Mail: info@fkm-sintertechnik.de
www.fkm-lasersintering.de

4.6 SAUER PRODUCT GMBH:

Schnellere Markteinführung dank additiver Fertigung

Als Pionier in der generativen Fertigung von Prototypen ist sauer product im südhessischen Dieburg schon seit 1988 als Anwender tätig. Im Laufe der Jahre entstanden immer neue Technologien in Kombination mit neuen Werkstoffen. Um jeweils optimale Lösungen für den spezifischen Anwendungsfall bieten zu können, hat sich das Unternehmen mit einem breiten Spektrum an Prototyping-Technologien aufgestellt; dabei umfasst das Angebot sowohl konventionelle Verfahren als auch innovative Technologien wie das Lasersintern.

Auf Grund der umfassenden Erfahrung kann sauer product heute selbst Werkstücke mit äußerst komplexer Geometrie kurzfristig, zu günstigen Kosten und mit der für die Anwendung erforderlichen Genauigkeit herstellen. Als Pilotanwender setzt das Unternehmen das SLM-Verfahren bereits seit zehn Jahren ein, hat inzwischen umfassende Erfahrungen gesammelt und zählt so heute zu den führenden Anbietern dieser Technologie.

Als Werkstoffe stehen bei sauer product unter anderem Edelstahl, Warmarbeitsstahl, Kobalt-Chromstahl sowie Aluminium und Titan zur Verfügung. Das Unternehmen bietet so eine breite Auswahl metallischer Materialien für die additive Fertigung.

Bereits sehr erfolgreich zeigen sich additive Fertigungsverfahren im Prototypenbau. Ein hervorragendes Beispiel ist das von sauer product durchgeführte Projekt „Träger- und Abdeckblech für einen Staubsauger“. Von diesem scheinbar einfachen Bauteil war ein Prototyp für Belastungs- und Funktionsprüfungen erforderlich. Konventionell ist dieser Prototyp aber nur mit einem teuren mehrstufigen Umform- und Stanzwerkzeug herstellbar. Ganz anders dagegen beim SLM-Verfahren, das sauer product einsetzt: Ausgehend vom 3D-CAD-Volumenmodell war der Bauprozess in nur einer Stunde programmiert, die Bauzeit des etwa 90 mal 230 Millimeter großen Trägerblechs auf der vollautomatisch arbeitenden Anlage betrug anschließend zwölf Stunden. So stand bereits eine Woche nach Auftragseingang der Prototyp beim Anwender für die Erprobung zur Verfügung.



Metallischer 3D-Druck eines Strukturbauteils
(Quelle: sauer product GmbH)

Wichtiger als die Einsparung der Werkzeugkosten für die Herstellung des Prototyps war allerdings die hohe Zeiteinsparung, die die Dieburger ermöglichen. Alleine der konventionelle Werkzeugbau hätte sonst rund vier Wochen in Anspruch genommen. Dank additiver Fertigung mittels SLM-Verfahren und dem Know-how von sauer product war es für den Kunden möglich, die ursprünglich geplante Markteinführungszeit um rund 15 Prozent zu verkürzen. Entscheidend dafür war, dass die additiv hergestellten Werkstücke dieselben mechanischen Eigenschaften aufwiesen wie der konventionell bearbeitete Originalwerkstoff.

Vorteile realisiert sauer product auch bei Sondereinzelanlagen wie zum Beispiel im Bereich Kraftwerksbau. Hier werden oftmals Bauteile mit sehr individuellen Anforderungen benötigt. Dadurch setzt sich das SLM-Verfahren oftmals später auch in der Serienanwendung durch, da sich die „Serie“ in diesen Fällen noch in geringen Stückzahlen ausdrückt.



sauer product GmbH

Stephan Sperling
Frankfurter Straße 73, 64807 Dieburg
Telefon: +49 6071 2070-170
E-Mail: ssperling@sauerproduct.com
www.sauerproduct.com

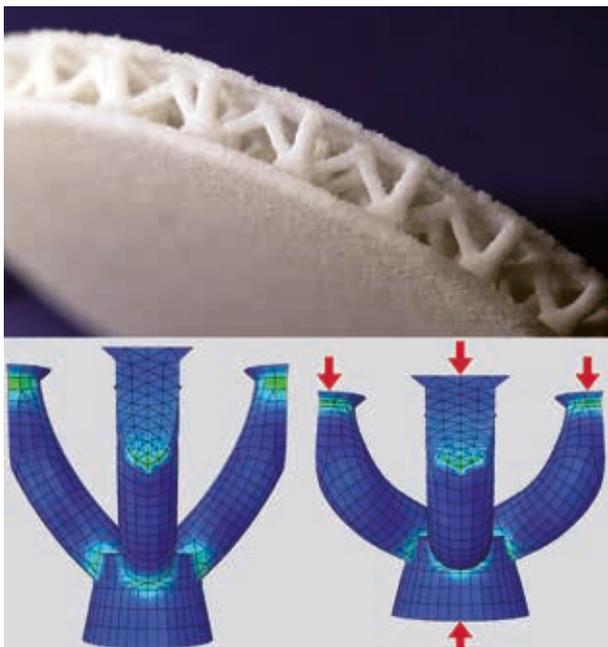
4.7

IETEC ORTHOPÄDISCHE EINLAGEN GMBH: PRODUKTIONS KG

Maßgeschneiderte Einlegesohlen für Diabetes-Patienten

Bei Diabetes-Patienten verkümmern oftmals die Nervenenden im Fuß. Die Betroffenen spüren schmerzende Stelle dann nicht mehr, was zu Druckstellen und Wundenbildung führen kann. Entlastung versprechen Einlegesohlen, die an der verletzten Stelle sehr weich sind und die Orthopädienschuhtechniker in Handarbeit aus verschiedenen Materialien passgenau anfertigen. Aufgrund des Unikatcharakters der Einlagen lassen sich die erzielten Erfolge bislang kaum wissenschaftlich nachvollziehen. Die Krankenkassen haben daher ein großes Interesse daran, den Prozess rund um die Einlegesohlen zu digitalisieren und damit für eine wissenschaftliche Datenerhebung zugänglich zu machen.

Im BMBF-Projekt »LAUF« (Lasergestützter Aufbau von kundenindividueller Fußbekleidung) arbeiten Wissenschaftler der Fraunhofer-Institute für Werkstoffmechanik IWM und für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT gemeinsam mit Industriepartnern an Materialentwicklungen und Digitalisierung. Es wurde eine Software entwickelt, mit der Orthopädienschuhtechniker die Sohle patientenindividuell entwerfen und auf einem 3D-Drucker ausdrucken können. Das bringt gleich mehrere Vorteile mit sich: Zum einen kann man, wie von den Krankenkassen gewünscht, nachvollziehen, welche mechanischen Eigenschaften die jeweiligen Einlagen haben. Zum anderen lassen sich die Einlegesohlen in Zukunft kostengünstiger herstellen.



3D-Strukturen aus TPU für Einlegesohlen. Die Strukturen wurden über CAD ausgelegt, ihre Eigenschaften simuliert und mit Experimenten abgeglichen (Quelle: Fraunhofer IWM)



Durch Kombination verschiedener Strukturen in einer Einlegesohle kann ihre lokale Steifigkeit digital eingestellt werden (Quelle: Fraunhofer IWM)

Die Basis für den 3D-Druck der Sohlen legten vor einigen Jahren die Industriepartner Covestro und Lehmann&Voss&Co. Sie haben mit thermoplastischem Polyurethan (TPU) erstmals ein elastisches Material für das Selektive Lasersintern (SLS) entwickelt. Dieses eignet sich sehr gut für orthopädische Einlagen. Gemeinsam mit Materialexperten am Fraunhofer UMSICHT werden weitere Typen des Kunststoffpulvers entwickelt, um die Anwendbarkeit für die Orthopädiebranche weiter zu verbessern.

Wissenschaftler am Fraunhofer IWM optimieren die 3D-Strukturen, die dieser Kunststoff in der Einlage annehmen soll. Denn wie weich oder hart die Einlage später ist, hängt nicht nur vom Material selbst ab, sondern auch von seiner Ausformung. Mithilfe anwendungsnaher Belastungssimulationen wird untersucht, welche Strukturen an welcher Stelle nötig sind, um die gewünschten Eigenschaften zu erreichen. Die Daten für die verschiedenen Einlagen gehen an die Industriepartner rpm GmbH und Sintermask, die sie auf SLS-Anlagen ausdrucken. Der Partner Explus ist zuständig für die 3D-Datenverarbeitung. Am Ende des Projekts steht die Software den Orthopädietechnikern der IETEC Orthopädische Einlagen GmbH zur Verfügung.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



IETEC Orthopädische Einlagen GmbH Produktions KG

Jürgen Stumpf, Geschäftsführer

Am Frankengrund 3, 36093 Künzell

Telefon: +49 661 380070

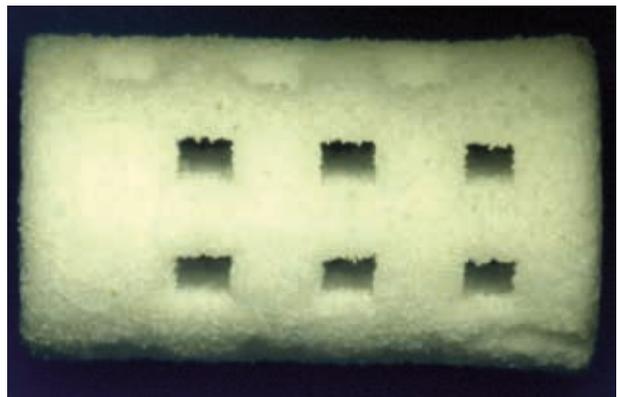
E-Mail: info@ietec.de

www.ietec.de

Additive Fertigung von individuellem Zahnersatz und Kieferknochen

Aufgrund der Individualität von Zahnersatz und der benötigten Einzelstücke haben sich generative Verfahren zu einer echten Alternative zu den traditionellen Fertigungsmethoden entwickelt. Auch für den Ersatz von Kieferknochen, der aufgrund der nach Zahnverlust eintretenden Gewebsschrumpfung (sog. resorptive Vorgänge) oder infolge von Unfällen oder Tumorerkrankungen entfernt werden musste, haben generative Verfahren an Bedeutung gewonnen. Fehlende Zähne durch Zahnimplantate zu ersetzen ist heute zu einer Routinemaßnahme in der modernen Zahnmedizin geworden. Aufgrund der resorptiven Vorgänge nach Zahnverlust muss jedoch häufig das Kieferknochenvolumen zunächst wieder aufgebaut werden, bevor der Zahnersatz implantiert werden kann. Noch umfangreicher sind die aufzubauenden Kieferareale bei einer Krebserkrankung. Der Aufbau des Kieferknochens geschieht üblicherweise durch Entnahme von Knochenmaterial an anderer Stelle des Körpers (zum Beispiel am Wadenbein) und dem Applizieren in den Kiefer. Nicht selten führt diese Behandlungsmethode sowohl zu Komplikationen am Kiefer als auch an der Entnahmestelle des Knochenmaterials.

An der Philipps-Universität Marburg erforscht die Zahnmedizinerin Professorin Christine Knabe-Ducheyne seit 2011 neue Biokeramiken für die additive Fertigung, die für den Aufbau kollabierter Kieferknochen genutzt werden können, den körpereigenen Knochen zum Wachstum animieren und sich nach drei bis sechs Monaten auf natürliche Weise abbauen. In einer Testreihe mit Schafen konnte sie die Bioaktivität von Kalziumalkaliorthosphat als Ersatzmaterial erfolgreich nachweisen. In einem aktuellen Forschungsprojekt geht es nun um die Herstellung des Knochenmaterials durch Tissue-Engineering mit additiven Fertigungsverfahren. Die Geometrie des Kiefers wird durch Computertomografie zunächst erfasst und das benötigte Knochengerüst dreidimensional aufgebaut. Anschließend erfolgt der Druck aus der Biokeramik. Der so genannte Scaffold kann dabei mit Knochenzellen und Wachstumshormonen angereichert werden und auch Mikro-Blutgefäße enthalten. Am Kieferknochen stimuliert der Scaffold anschließend das Knochenwachstum, soll mit den natürlichen Geweben verwachsen und sich nach wenigen Monaten abbauen. Danach kann der Einsatz des Implantats erfolgen.



3D-gedrucktes Knochengerüst zum Tissueengineering von segmentalen Unterkieferknochendefekten
(Quelle: Philipps-Universität Marburg)

Professorin Knabe-Ducheyne verfolgt diese Zielsetzung seit nunmehr 25 Jahren. Im Rahmen einer vom Hanauer Unternehmen Heraeus-Kulzer mit einer Million Euro finanzierten Stiftungsprofessur wird die Vorgehensweise aktuell im Tierversuch getestet. Blutgefäße enthaltende Scaffolds werden in den Oberschenkelknochen implantiert und anschließend der Gewebeaufbau überprüft sowie die Resorptionseigenschaften der Biokeramik getestet. „Wir untersuchen in der Versuchsreihe unterschiedliche Scaffolds, um die Materialien und Bedingungen zu optimieren. Den besten Scaffold wollen wir dann im Rahmen eines Großtierversuchs testen“, beschreibt Christine Knabe-Ducheyne die Vorgehensweise im Forschungsprojekt. „Wie schön wäre es, wenn ich Patienten in Zukunft die unangenehme Knochenentnahme ersparen könnte.“ (Quelle: Marburger Uni-Journal Nr. 44, Sommer/Herbst 2014, ISSN 1616-1807)



Philipps-Universität Marburg

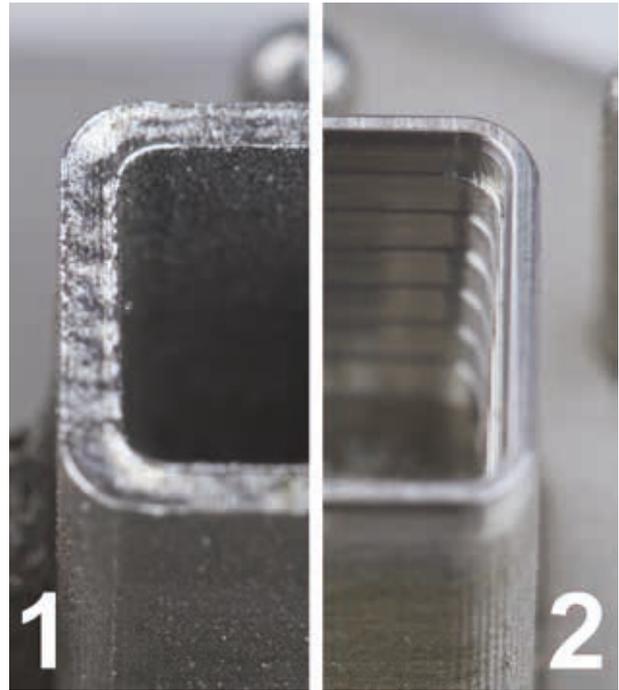
Prof. Dr. Christine Knabe-Ducheyne, DDS, PhD
Georg-Voigt-Straße 3, 35039 Marburg
Telefon: +49 6421 5863600
E-Mail: knabec@med.uni-marburg.de
www.med.uni-marburg.de

Individuelle Massenproduktion von Medizinprodukten

Die Medizintechnik verzeichnet einen rasanten Wandel in allen Bereichen. Der demografische Wandel, neue medizinische Werkstoffe, zunehmender Kostendruck und die Nachfrage nach kundenindividuellen medizintechnischen Produkten sind die Hauptanforderungen für die Zukunft. Insbesondere in der Dentaltechnik werden diese Trends in den nächsten Jahren zu einer deutlichen Veränderung der heutigen Prozesse führen. Die angewandten Produktionstechniken müssen mit der Entwicklung Schritt halten und den medizinischen Kunden effiziente Methoden zur Entwicklung von neuen und angepassten Produkten und Produktionssystemen zur Verfügung stellen. Die derzeit mehrstufigen und über einen längeren Zeitraum andauernden Behandlungen sind geprägt durch rekursive Abläufe im Dentallabor.

Ziel des Verbundforschungsprojekts COMMANDD (COMputer MANufactured and Designed Dental Products) war die Entwicklung einer dentalmedizinischen Entwicklungsumgebung zur simultanen Entwicklung von Produkt und dem Produktionssystem. Mit dem neuen System wird dem Arzt oder Zahntechniker eine Methodik an die Hand gegeben, um für den Patienten schneller und mit geringeren Stückkosten einen individuell angepassten Zahnersatz auf höchstem Niveau zu entwickeln. Unter Einsatz abtragender und additiver Fertigungsverfahren und durch signifikante Veränderung der gesamten digitalen Prozesskette wurde für den technisch nicht geschulten medizinischen Fachanwender eine Software-Entwicklungsumgebung geschaffen, in der für alle Produkte ein „offenes one-button“-System zur Verfügung steht.

Durch die Entwicklung und prototypische Implementierung eines Datenmanagementsystems (FDDM) konnten die Prozessschritte zur Herstellung eines Zahnersatzes von 12 auf 6 Schritte reduziert werden. Die sinnvolle Verknüpfung von auftragenden Verfahren (SLM) mit abtragenden Verfahren (Fräsen) trägt zur wirtschaftlichen Herstellung eines Zahnersatzes bei. Dies wurde durch die Optimierung des CAM-Systems sowie des Transfers der Positionslage des Bauteils von der Maschine mit dem auftragenden Verfahren zur Fräsmaschine erreicht. Die Erkenntnisse sind nicht nur für den Dentalbereich relevant, sondern können auf die dezentrale Herstellung von patientenindividuellen Endoprothesen übertragen werden. Auch die Verwendung in anderen industriellen Bereichen wie dem allgemeinen Maschinenbau oder der Turbinenfertigung ist möglich. Speziell die Anforderungen an Gewichtseinsparung in Verbindung mit Strömungsflächen geringer Rauheit lassen auf ein großes Marktpotenzial schließen. Die Projektergebnisse wurden dem dentalen Fachpersonal mittels eines Prozesskettendemonstrators an der TU Darmstadt zur Verfügung gestellt.



Additiv gefertigtes SLM-Halbzeug (1) und fräsend nachbearbeitetes SLM-Halbzeug im Vergleich (2)
(Quelle: Technische Universität Darmstadt)



Technische Universität Darmstadt

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)
Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
Otto-Berndt-Straße 2, 64287 Darmstadt
Telefon: +49 6151 16-2156
E-Mail: abele@ptw.tu-darmstadt.de
www.ptw.tu-darmstadt.de

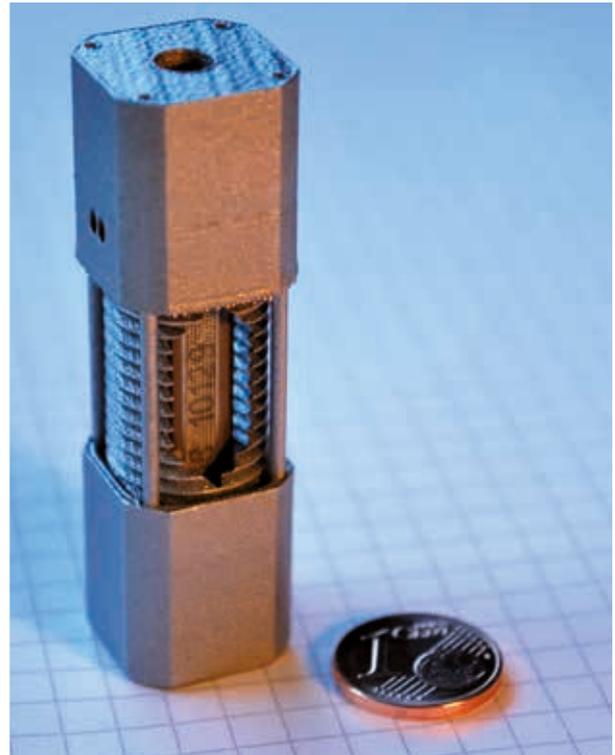
4.10 FRAUNHOFER LBF:

Polymerisierbare Drucktinten für den porenarmen 3D-Druck und Piezo-Aktoren mit SLM-Gehäuse

In einer Vielzahl von Projekten wird am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF an der Weiterentwicklung additiver Fertigungstechnologien bzw. an deren Anwendung im Kontext der direkten Produktfertigung gearbeitet. Im Rahmen seiner Dissertation hat Christoph Kottlorz 2013 ein Projekt zur Entwicklung polymerisierbarer Tinten und schnell löslicher Pulver für den 3D-Binderdruck beschrieben. Trotz des einfachen Verfahrensprinzips, der Ähnlichkeit zu konventionellen 2D-Druckern und der Möglichkeit zur parallelen Verwendung mehrerer Druckdüsen werden die Potenziale des 3D-Drucks für die Herstellung von Kunststoffteilen in kleiner Serie noch nicht vollständig genutzt. Die Gründe sind vielfältig und werden insbesondere auf die Porosität der Bauteile und geringe mechanische Festigkeit zurückgeführt. Ziel des Projektes war deshalb, die Entwicklung neuer Materialsysteme für den Druck porenarmer Körper mit deutlich erhöhter Festigkeit.

Im Projekt wurden sowohl neue Tinten auf der Basis von radikalisch polymerisierbaren Monomeren erprobt als auch die schnelle, aber kontrollierte Polymerisierbarkeit mit neuen Pulvermischungen getestet. Bei der Polymerisation der Monomertinte kam ein Zwei-Komponenten-Initiatorsystem zum Einsatz. Das Pulver bestand zu einem großen Anteil aus einem weichen Elastomer und zu einem kleinen Anteil aus hartem Polymethylmethacrylat (PMMA). Die besten Ergebnisse wurden mit HEMA (Hydroxyethylmethacrylat) als polymerisierbarem Monomer erzielt. Beim 3D-Druck konnten die Poren in der Pulverschüttung durch eine entsprechend hohe Tintenmenge gefüllt werden, die Porosität wurde deutlich verringert. Dadurch konnten erstmals porenarme und mechanisch stabile Prüfteilgeometrien mit hinreichender Transluzenz durch 3D-Drucken hergestellt werden. Im Praxistest wurde eine ähnliche Festigkeit und Dehnbarkeit festgestellt wie beim Spritzguss vergleichbarer industrieller Polymere.

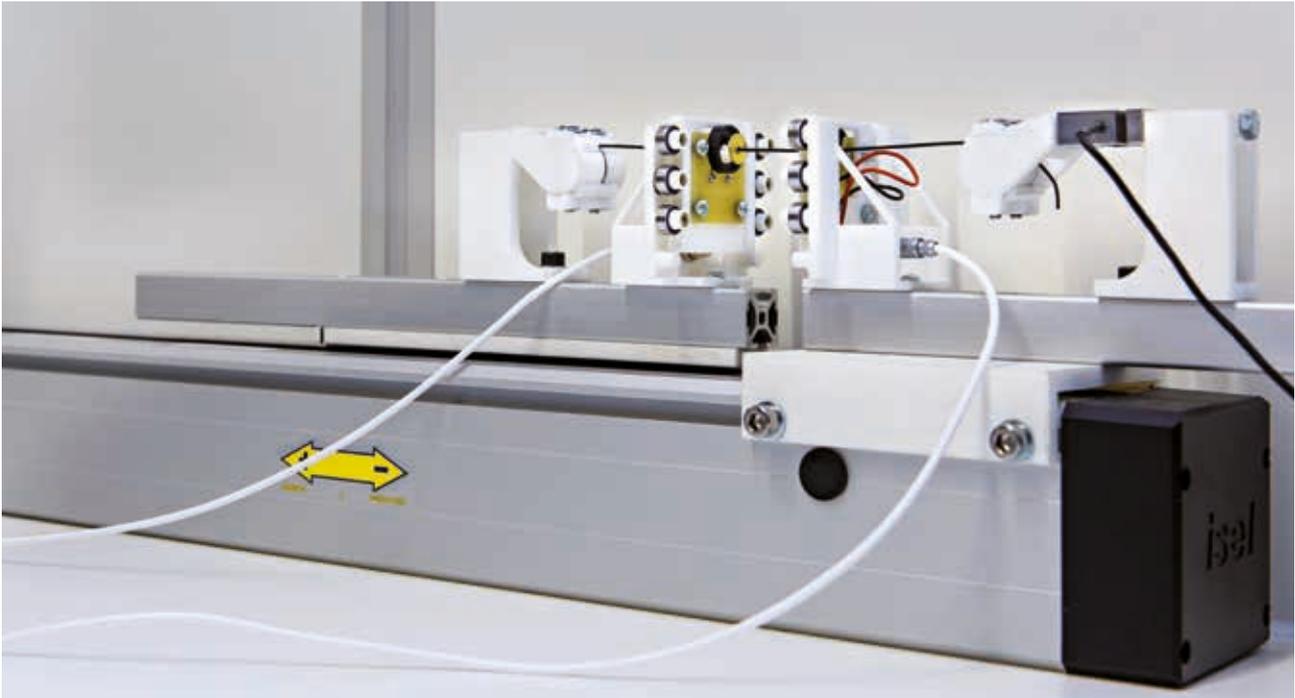
Ein anderer Forschungsbereich des Fraunhofer LBF zielt auf die Entwicklung adaptiver Systeme ab, um fortgeschrittene Methoden der Strukturodynamik und Signalverarbeitung unter Einbeziehung neuartiger Aktoren und Sensoren zu ermöglichen. Zur Herstellung widerstandsfähiger Gehäuse für Piezo-Aktoren eignen sich Verfahren der Massenfertigung wie das Spritzgießen bislang nicht. Wissenschaftler des Fraunhofer LBF haben deshalb die Verwendung additiver Techniken angestrebt und in einem Projekt den Bau eines monolithischen Gehäuses für einen Piezo-Stapelaktor durch selektives Laserschmelzen (SLM) erfolgreich getestet.



Piezo-Stapelaktor, der in einem SLM-gefertigten monolithischen Gehäuse untergebracht ist (Quelle: Fraunhofer LBF)



Individuelle Fertigung von Sensoren (Quelle: Fraunhofer LBF)



Zugprüfung an Fasern: 3D-gedruckte Halterung mit Ultraschallwandlern (Quelle: Fraunhofer LBF)

Beim SLM wird Metallpulver durch einen Laserstrahl auf seine Schmelztemperatur erhitzt und die einzelnen Partikel miteinander verschmolzen. Auf diese Weise waren die Fraunhofer Forscher in Zusammenarbeit mit dem Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der TU Darmstadt in der Lage, ein dichtes und widerstandsfähiges Gehäuse zu erzeugen und die Eigenschaften individuell an die jeweilige Aufgabe anzupassen. Mit dem Verfahren konnte der Großteil des Aufwandes für den Werkzeugbau eingespart und die Herstellungskosten des komplexen Bauteils in kleiner Stückzahl spürbar gesenkt werden. Als Aktor wählten die Forscher einen im Handel erhältlichen piezokeramischen Stapelaktor in den Abmaßen 7 x 7 x 32 Millimeter und mit einer maximalen Blockierkraft von zwei Kilonewton bei maximaler Dehnung von 45 Mikrometer.

Die größte Herausforderung bestand darin, den Piezo-Aktor während des additiven Fertigungsprozesses in das entstehende Gehäuse zu integrieren. Dazu wurde der Vorgang des schichtweisen Laserschmelzens unterbrochen, der Aktor eingesetzt und der Prozess weiter fortgeführt. Dabei musste die Erhitzung des Pulverbetts beachtet werden. Die Prozesstemperaturen wirkten sich anschließend positiv aus. Denn die sich nach Abkühlung einstellende thermische Schrumpfung führte zu einer mechanischen Vorspannung des Aktors im Inneren, was sich vorteilhaft auf die Antriebsleistung auswirkte, ohne die hermetische Abdichtung zu beeinträchtigen.

Laut Professor Dr. Tobis Melz, Leiter des Fraunhofer LBF, eröffnen generative Fertigungsverfahren zusätzliche Gestaltungsmöglichkeiten und damit optimierte Topologien von Produkten. Am Fraunhofer LBF wurden Druckmaterialien entwickelt, die mittlerweile ähnliche Festigkeiten und Dehnbarkeiten ermöglichen wie beim konventionellen Spritzguss. Zusätzlich wurde zusammen mit dem Fachgebiet PTW der TU Darmstadt von Herrn Professor Abele ein Verfahren zur generativen Fertigung von gehausten Piezostapelaktoren patentiert, welches ganz neue Einsatzmöglichkeiten zum Beispiel für die Schwingungsminderung und das sogenannte Energy Harvesting erlaubt.



Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz (Institutsleiter)
 Bartningstraße 47, 64289 Darmstadt
 Telefon: +49 6151 705-252
 E-Mail: info@lbf.fraunhofer.de
www.lbf.fraunhofer.de

Projekte rund um additive Technologien



AudioView – Orientierung durch Sound
(Design: Frauke Taplik)

Ein Beispiel für die Verwendung generativer Techniken im Bereich der Medizintechnik ist das von der Designerin Frauke Taplik entwickelte earplugsystem AudioView. Dieses dient blinden Personen zum akustischen Orten von RFID-markierten Objekten. Es besteht aus einer individuellen Otoplastik, die mit einem 3D-Drucker erzeugt

wird, und einem seriellen Sender bzw. Lautsprecher. Das System ermittelt die Position von Hindernissen im Raum und gibt diese durch ein akustisches Signal an die blinde Person weiter. Die Signale sind nur für den Träger hörbar und erleichtern ihm die Orientierung. Die Form des earplugs ist so gewählt, dass die Gehörgänge offengelassen werden.

In Zusammenarbeit mit der Diers GmbH ist Formetric 4D, ein Gerät zur lichtsichtbaren Vermessung der Wirbelsäule zur Haltungsanalyse, entstanden. Ein von dem Optikunternehmen entwickeltes grafisches Streifenmuster wird auf den Rücken des Patienten projiziert, das mit einem Kamerasystem aufgenommen wird. Eine Software berechnet mittels anatomischer Fixpunkte die Lage der Wirbelsäule und des Beckens und leitet ein dreidimensionales Modell ab. Mit diesem ist eine Diagnose von Fehlhaltungen im Stand ebenso möglich wie die Überprüfung von Bewegungsabläufen. Für die Herstellung wurde die von Materialise entwickelte Fertigungstechnik der Mammut-Stereolithografie genutzt, mit der erstmals Bauteile mit einer Länge von mehr als zwei Metern additiv erzeugt werden können. Das generative Fertigungsprinzip ermöglichte es, den Materialbedarf und die Wandstärke auf ein Minimum zu reduzieren. Als Verstärkung wurde eine rautenförmige Innengeometrie in Analogie zur Wirbelsäule gewählt, die aufgrund des semitransparenten Harzes nach außen sichtbar ist.



Formetric 4D – 3D-/4D-Wirbelsäulen- und
Haltungsvermessung (Design: Stephan Brühl)



Hochschule für Gestaltung Offenbach

Büro für Wissenstransfer

Ulrike Grünewald

Schlossstraße 31, 63065 Offenbach am Main

Telefon: +49 69 800 59-166

www.hfg-offenbach.de/transfer

4.12 FRAME ONE:

Die Individualisierung von Fahrrädern mit Hilfe additiver Produktion



FRAME ONE - 3D-gedruckter Fahrradrahmen
(Quelle: Mervyn Bienek, Felix Pappe, Philip Hunold, HfG Offenbach am Main)

Überfüllte Städte, zu viele Autos, hohes Verkaufsaufkommen, Umweltverschmutzung: Das Thema Mobilität steht nicht nur vor logistischen, sondern auch vor ökologischen Herausforderungen. Eine Antwort auf die Probleme unserer Zeit: der Umstieg auf das Fahrrad. Jedoch sind herkömmliche Fahrräder bislang wenig auf die individuellen Bedürfnisse des Fahrers ausgerichtet und werden meist kostengünstig aus dem Ausland importiert.

An der HfG Offenbach haben die Designer Mervyn Bienek und Felix Pappe in Kooperation mit dem Wirtschaftswissenschaftler Philip Hunold unter dem Markennamen FRAME ONE ein Geschäftsmodell zur regionalen Bereitstellung maßgefertigter Fahrräder zum Preis eines hochwertigen Rads von der Stange entwickelt. Ermöglicht wird der hohe Grad an Individualisierung durch einen partiell 3D-gedruckten Fahrradrahmen. Der Rahmen wird lokal und nachhaltig in eigenen Stores produziert und dann zu einem kompletten Zweirad montiert.

Der FRAME ONE-Rahmen besteht aus 3D-gedruckten Knotenpunkten, die individuell auf den Fahrer angepasst werden, und standardisierten Karbonrohren, die mit den Knotenpunkten zu einem Rahmen, einer Gabel und einem Lenker montiert werden. Durch ein Schraubensystem können alle Teile demontiert und sortenrein recycelt werden. Mit

Hilfe der Maßfertigung lässt sich der Rahmen deutlich vereinfachen; Sattelstütze und Vorbau entfallen.

Das Fahrrad wird auf den Fahrer zugeschnitten, um das Optimum an Fahrleistung zu erzielen und ein ergonomisches, gesundes Fahren ohne Fehlhaltungen zu ermöglichen. FRAME ONE wird durch den Kunden individualisiert, um es auf seine ästhetischen und funktionalen Bedürfnisse abzustimmen. Mit dem additiven Produktionssystem lässt sich jede Wunschposition und jeder Rahmentyp realisieren. Der 3D-Druck ist dabei nicht nur Produktionsmethode, sondern wird zur neuen Ästhetik des FRAME ONE.

Das Geschäftsmodell wurde beim Gründerpreis Hessen-Idee 2017 mit dem ersten Preis ausgezeichnet.



FRAME ONE

Mervyn Bienek
Bismarckstraße 10, 63065 Offenbach
Telefon: +49 157 54517715
E-Mail: hello@frameone.bike
www.frameone.bike



4.13 UNIVERSITÄT KASSEL:

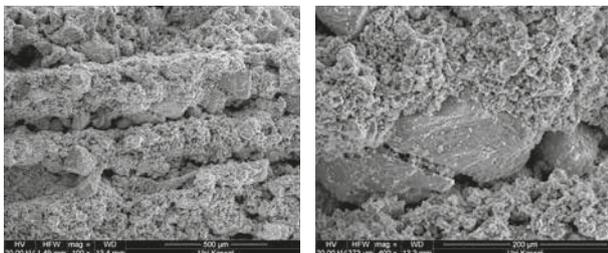
3D-Druck zementgebundener Formteile

In der Architektur, wo großformatige und geometrisch komplexe Bauteile oft ebenfalls in kleinen Losgrößen benötigt werden, sind 3D-Druck-Technologien bislang noch weitgehend ungenutzt. Ein bekanntes und für diese Fertigungstechnologie interessantes Material ist der kostengünstige und damit auch für großformatige Teile geeignete Zementwerkstoff.

Im Rahmen eines von der Universität Kassel initiierten Forschungsprojektes mit Partnern aus der Industrie wurde 2012 und 2013 ein Verfahren zur additiven Herstellung von zementgebundenen Formteilen entwickelt und die Verwendbarkeit der daraus resultierenden Produkte im Architektur- und Baubereich im Rahmen einer Dissertation am Fachgebiet Tragkonstruktion und Massivbau untersucht.

In diesem Verfahren wird ein Zementwerkstoff mit Zuschlägen versetzt und schichtweise in einen bis zu acht Kubikmeter großen Bauraum auf einer Anlage der Firma voxeljet eingebracht. Die Verfestigung des Gemisches erfolgt dabei ebenfalls schichtweise selektiv mit einer wässrigen Lösung. Die Verarbeitung eines Zementwerkstoffes in einem 3D-Druck-Prozess bedeutet eine grundlegende Abkehr von den bisher bekannten Verarbeitungsmethoden, da hier die übliche mechanische Durchmischung zur gleichmäßigen Vermengung von Flüssigkeit und Zementpulver nicht stattfindet.

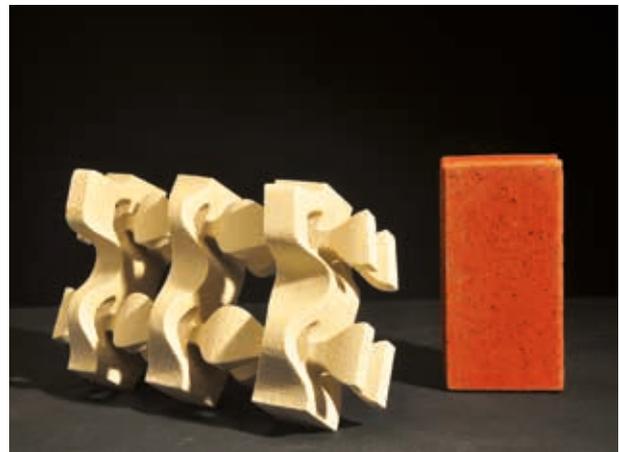
Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die physikalischen Eigenschaften des Endproduktes dadurch sehr stark verändern. Ein Grund hierfür sind Anisotropien, welche durch den schichtweisen Aufbau entstehen, die in der nachstehenden Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme zu sehen sind.



Schichtweiser Aufbau eines zementgebundenen Werkstoffes nach der Verarbeitung in einem 3D-Druck-Verfahren (Quelle: Universität Kassel, A. Fromm)

In den entwicklungsbegleitenden Versuchen wurden Festigkeitsabweichungen in Abhängigkeit vom Lastangriffswinkel zur Schicht von bis zu 50 Prozent festgestellt. Diese unerwünschten Effekte konnten durch eine Nachbehandlung reduziert und gleichzeitig die Gesamtfestigkeiten gesteigert werden. Legt man die DIN EN 1992 für derartige Produkte im Außenbereich zu Grunde, sind die einschlägigen Kennwerte noch nicht erreicht. Unabhängig davon jedoch konnte das Ziel, ein zementgebundenes Formteil mit einem additiven Verfahren herzustellen, welches dem Planer ein Höchstmaß an gestalterischer Freiheit bietet, mit dem 3D-Druck-Verfahren realisiert werden.

Zur Verwendung dieser neuen Produkte im Architektur- und Baubereich sind weitere Untersuchungen auch deshalb notwendig, da in Langzeituntersuchungen unerwartete Festigkeitseinbußen bei den eingesetzten Zementwerkstoffen festgestellt wurden. Darüber hinaus müssen noch Strategien zur permanenten Kontrolle des Produktionsprozesses entwickelt werden.



Prototyp eines nicht schaltbaren, parametrischen Moduls (Quelle: Universität Kassel, J. Frankenstein-Frambach, A. Fromm)



Universität Kassel
Fachgebiet Massivbau
Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Fehling
Kurt-Wolters-Straße 3, 34109 Kassel
Telefon: +49 561 804-2608
E-Mail: fehling@uni-kassel.de
www.uni-kassel.de/fb14bau

Anmerkung: noch in Klärung

4.14 TATCRAFT GMBH:

Größter MakerSpace im Rhein-Main Gebiet



Blick in die Werkstätten des Tatcraft MakerSpace (Quelle: Tatcraft GmbH)

Unter dem Namen „Tatcraft“ feierte im Juni 2017 in einer Backsteinhalle auf dem früheren Gelände des Anlagenbauers Lurgi im Seckbacher Industriegebiet der größte Makerspace des Rhein-Main-Gebiets seine Eröffnung. Auf rund 1.500 Quadratmetern wird dem Designer, kreativen Handwerker, dem Hobbybastler oder Möbel- bzw. Interiordesigner alles geboten, was er zur Realisierung seiner Ideen und Entwürfe benötigt. Neben einer Holzwerkstatt, CNC-Fräse, einem Laser-Cutter und einer Wasserstrahlschneidanlage zur Verarbeitung von Glas, Stein und Metall haben die Macher bei Tatcraft auch ein Exemplar des derzeit weltweit größten industriellen Filamentdruckers von BigRep aus Berlin im Betrieb.

Etwa eine halbe Million Euro haben die beiden Tatcraft-Gründer Fabian Winopal und Tim Fleischer investiert, um jungen Kreativen und kleinen Betrieben einen High-tech-Maschinenpark zur Verfügung zu stellen. Während die Mitgliedschaft im Tatcraft-MakerSpace für Einzelpersonen € 179 im Monat kostet, zahlen Studenten und Auszubildende einen reduzierten Betrag in Höhe von € 125. Unternehmen zahlen für eine intensive Nutzung der Maschinen einen höheren Beitrag. Unter anderem ist es Teil des Geschäftsmodells, dass Unternehmen mit jungen Kreativen in Kontakt kommen. Die Anlagenhersteller empfinden den Tatcraft-MakerSpace als eine Art Showroom im Großraum Frankfurt. Deshalb hat das Start-up-Unternehmen den Maschinenpark zu günstigeren Konditionen zusammenstellen können.

„Das Rhein-Main-Gebiet ist für unsere Idee der ideale Ort“, sagt Fabian Winopal. „Viele Kreative und Künstler arbeiten hier an spannenden Projekten. Außerdem gibt es eine Menge auf Design spezialisierte Hochschulen.“

Makerspaces sind aus den sogenannten Fablabs („fabrication laboratories“) hervorgegangen, die vom Informatiker Neil Gershenfeld im Jahr 2002 am Massachusetts Institute of Technology (MIT) ins Leben gerufen wurden. Gershenfeld wollte Laien das Wissen um den Umgang mit digitalen Produktionstechnologien wie dem 3D-Druck, dem CNC-Fräsen und Laser-Schneiden vermitteln und die Open-Source-Idee einer breiten Masse näherbringen. So wie an der TU Darmstadt wurden die ersten Fablabs und Makerspaces an Hochschulen und Universitäten eröffnet. Aktuell beobachten wir eine zweite Generation professionell betriebener, kommerzieller Einrichtungen, deren Angebote insbesondere von Kreativen aus einem professionellen Umfeld genutzt werden. Diese Entwicklung ist vor allem aus den USA und China bekannt geworden.



Tatcraft GmbH

Fabian Winopal (Geschäftsführer)
Gwinnerstraße 42, 60388 Frankfurt am Main
Telefon: +49 176 8314 04 68
E-Mail: corporate@tatcraft.de
www.tatcraft.de

4.15 FRAUNHOFER IGD:

Voxel-basierter 3D-Druckertreiber Cuttlefish

Mit der größer werdenden Bedeutung additiver Produktionsverfahren für die Industrie steigen auch die Anforderungen an den Funktionsumfang und den Bauraum der Anlagen. Insbesondere der Wunsch nach Multimaterialsystemen und großvolumigen Systemen lässt sich deutlich am Markt erkennen. Damit steigen auch die Anforderungen an die Steuerungssoftware deutlich. Vor allem die akkurate Positionierung der Materialien, um sowohl geometrische als auch optische Eigenschaften korrekt wiederzugeben, stellt aufgrund der immensen Datenmengen eine große Herausforderung dar.

Das Fraunhofer IGD entwickelt unter dem Namen „Cuttlefish“ einen Streaming-fähigen, Voxel-basierten Druckertreiber zur Ansteuerung von Multimaterial-3D-Druckern. Cuttlefish berechnet lediglich die gerade für den Druck benötigten Informationen, um den benötigten Speicherverbrauch zu minimieren und den additiven Herstellungsvorgang auch für komplexe und große 3D-Modelle bereits in Sekunden starten zu können.

Auf der formnext 2017 hat Stratasys die GrabCAD Voxel Print-Lösung für seinen Vollfarb-Multimaterial-3D-Drucker J750 vorgestellt, die das System für die Verwendung mit Drittanbieter-Software öffnet. Der Druckertreiber Cuttlefish des Fraunhofer IGD arbeitet nahtlos mit GrabCAD Voxel Print zusammen. „Das Fraunhofer IGD war einer der ersten Nutzer unserer GrabCAD Voxel Print-Lösung, was dem Institut ermöglichte, Cuttlefish so zu entwickeln, dass die Farb- und Transluzenzfähigkeiten des Vollfarb-Stratasys 3D-Druckers J750 voll ausgeschöpft werden“, so Tomer Gallimidi (Education Product Leader bei Stratasys).

Die neueste Cuttlefish-Version unterstützt RGBA-Texturen, die sowohl Farb- als auch Transluzenzinformationen beinhalten und von vollkommen opak bis hin zu vollkommen transparent reichen können. Der Treiber ermöglicht es Nutzern, mehrere sich überlappende Modelle zu drucken, jedes mit einer oder mehreren RGBA-Texturen.

„Auf RGBA-Daten basierende 3D-Modelle werden von 3D-Dateiformaten wie OBJ oder WRL unterstützt und können von vielen Design- und Texturierungstools erzeugt werden“, erläutert Professor Philipp Urban (Leiter der Abteilung 3D-Druck-Technologie am Fraunhofer IGD) die Entwicklung. „Darüber hinaus können RGBA-Texturen von populären Bildbearbeitungsprogrammen wie Adobe Photoshop erzeugt oder modifiziert werden. Cuttlefish schließt die Qualitätslücke zwischen dem virtuellen Design und seiner Wiedergabe als 3D-Druck. Wir unterstützen mittlerweile Polyjetting, FDM-, SLM- und DLP-Drucker und können aufgrund des modularen Workflows schnell neue Drucktechnologien anbinden.“

Veranschaulicht wurden diese Fähigkeiten mit einem 3D-Anatomie-Modell, das aus 28 Teilen besteht. Jedem von diesen wurde ein anderes Material zugewiesen, die zusammengenommen durch 425 Megapixel Farbtexturen beschrieben werden. Transparente Teile des Modells wurden einfach durch Modifizierung der RGBA-Daten erzeugt.



Cuttlefish setzt komplexe Modelle im 3D-Druck mit hochpräziser Farben- und Transluzenz-Wiedergabe um (Quelle: Fraunhofer IGD)



**Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung
IGD**

Prof. Dr. Philipp Urban
Head of Competence Center 3D Printing Technology
Fraunhoferstraße 5, 64283 Darmstadt
Telefon: +49 6151 155-250
E-Mail: philipp.urban@igd.fraunhofer.de
www.igd.fraunhofer.de
www.cuttlefish.de

4.16 FIBERTHREE GMBH:

Durch Carbonfasern zu leistungsfähigeren additiven Bauteilen

In heutigen technischen Anwendungen sind faserverstärkte Kunststoffe weit verbreitet. Sie erhöhen meist die Festigkeit bei gleichzeitiger Gewichtsreduzierung. Um die Vorteile für die additive Fertigung nutzbar zu machen, um die bekannten Materialvorteile aus Spritzguss oder Komposit-Fertigung zu nutzen, haben sich die Gründer der jungen Fiberthree GmbH auf die Entwicklung und den Vertrieb von technischen FFF-Filamenten mit Faserzusätzen für die Verarbeitung auf marktüblichen Druckern spezialisiert.

Fasern können derzeit in additiven Multijet- oder Pulverbettverfahren noch nicht verarbeitet werden. Das Schmelz- beziehungsweise Strangablegeverfahren mit fasergefüllten Materialien ist daher alternativlos, wenn hochgefüllte Kunststoffe eingesetzt werden sollen, und bedarf geringerer Investitionen als beispielsweise das SLS-Verfahren.

„Wir sind ein Unternehmen, das sich auf hochfeste Bauteile spezialisiert, die zeitnah und günstig hergestellt werden können, ohne den Umweg über spezielle Spritzguss- oder Kompositaufbauformen gehen zu müssen. Wir entwickeln das Material und die Komponenten, um es druckfähig auf Maschinen zu verarbeiten. Anwendungen sind zumeist Teile, die mobil sein sollen, und das in hoher Festigkeit. Der Materialeinsatz beim Anwender setzt ein professionelles Umfeld additiver Produktionsprozesse voraus. Wem das zu aufwendig ist, bieten wir unser Know-how für Engineering und Lohnfertigung an. Unser Druckerpark steht für Kunden zur Verfügung – wirtschaftlich oft eine sinnvolle Alternative. Unsere Kunden schätzen die schnelle Umsetzung“, erläutert Klaus Philipp das Geschäftsmodell der Fiberthree GmbH

Ein Anwendungsbeispiel, das die Vorzüge des Materials besonders gut zeigt, sind Montagehilfen oder Messlehren. Diese können im 3D-Drucker absolut plan und maßhaltig hergestellt werden. Der Faseranteil verhindert den Verzug; im verstärkten Kunststoff können Passbuchsen oder Gewindeeinsätze nachträglich eingearbeitet werden. Somit lässt sich ausgehend von der CAD-Vorgabe direkt ein einsatzfähiges Tool erzeugen. Im Vergleich zur herkömmlichen zerspanenden Fertigung in Aluminium wird neben dem geringeren Materialeinsatz die CNC-Bearbeitung substituiert. Die Kosteneinsparung liegt in der verkürzten Prozesskette und dem geringen Aufwand zur Lagerhaltung der Materialien. Bei eigenem Druckereinsatz ist ein Ersparnis von mehr als 50 Prozent nicht selten.

Der Fokus der Materialentwicklung für FFF-Filamente liegt derzeit auf Polyamiden, da diese in vieler Hinsicht technisch den Bedürfnissen des professionellen Einsatzes in Bauteilen entsprechen, eine gute Wärme- und Medienbeständigkeit zulassen und keine kritischen Zersetzungsprodukte freigeben. Durch den schichtweisen Fertigungsprozess herrschen anisotrope Werkstoffkennwerte vor, dennoch sind die Festigkeiten auch im Aufbau um die Hochachse, also zwischen den Lagen, so hoch, dass sich neue Einsatzmöglichkeiten ergeben.

Anwendungsbeispiel „Additive Orthesenfertigung“

Orthesen werden derzeit von Hand laminiert oder in Einheitsgrößen in Serie gefertigt. In einem komplexen Fertigungsprozess wird meist ein leichter Kern gefräst, der mit Carbongewebe in einer Harzmatrix von außen verstärkt wird. Das 3D-gedruckte Bauteil aus carbonfaserverstärktem Polyamid hat eine innere Wabenstruktur zur Gewichtseinsparung. Die Druckzeit beträgt 24 Stunden. Das Gewicht entspricht der laminierten Variante mit rund 280 Gramm. Die Orthese kann im CAD dem Kunden individuell angepasst werden und wird direkt in einem Produktionsprozess additiv gefertigt.



3D-gedruckte Bohrschablone (Quelle: Fiberthree GmbH)



Fiberthree GmbH

Klaus Philipp (Geschäftsführer)
Nieder-Ramstädter-Straße 22, 64283 Darmstadt
Telefon: +49 6151 734 75 900
E-Mail: kontakt@fiberthree.de
www.fiberthree.com

4.17 CONTINENTAL ENGINEERING SERVICES GMBH:

Kompetenzzentrum Additive Design and Manufacturing (ADaM)

Der Markt rund um die additiven Fertigungsverfahren hat sich in den letzten Jahren sehr positiv entwickelt. Für die nahe Zukunft geht man von der Erschließung der Einsatzpotenziale der additiven Produktion vor allem in der Automobil- und Elektroindustrie aus. Einige der großen Unternehmen der Zulieferindustrie bereiten sich auf diese Entwicklung vor und bündeln ihre Kompetenzen in AM-Zentren mit einem Fokus auf die direkte additive Produktion von Kleinserien, Ersatzteilen und Prototypen.



Additiv gefertigter Rohrflansch (Quelle: Continental Engineering Services CES)



Continental Additive Design and Manufacturing (ADaM)
(Quelle: Continental Engineering Services CES)

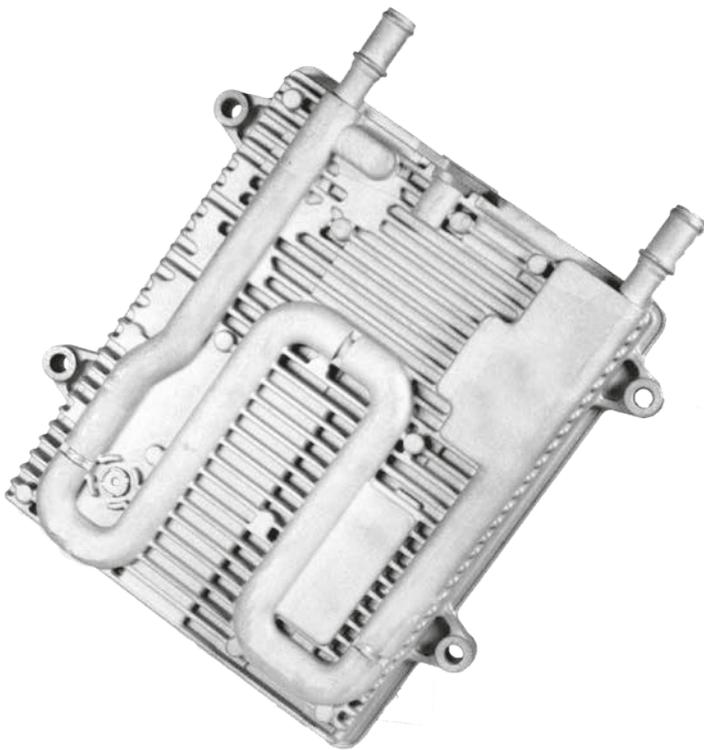


Continental Qualification Laboratory Karben (QL KRB)
(Quelle: Continental Automotive GmbH)

Eines dieser Kompetenzzentren im Land Hessen ist ADaM (Additive Design and Manufacturing) im Technologiepark der CES Product Solutions von Continental Engineering Services (CES) in Karben in der Nähe von Frankfurt am Main. In diesem wird das weltweite Wissen von Continental gesammelt und sämtlichen internen Bereichen zur Verfügung gestellt. Auf einer Fläche von 560 Quadratmetern nutzt ein Team von Technikern und Ingenieuren eine hochmoderne Produktionsstätte mit allen gängigen 3D-Druck-Verfahren. Der Technologiepark der CES Product Solutions umfasst neben der hochmodernen additiven Fertigung auch klassische Verfahren der Mechanik, wie die zerspanende Fertigung oder Laser-, Biege-, Schweiß- und Stanztechniken sowie Spritzguss- und Vakuumgussanlagen und eine Elektronikproduktion.

Als Komplettanbieter bietet Continental Engineering Services (CES) neben maßgeschneiderter Entwicklungsarbeit für Automotive- und Industrieanwendungen auch gleich die dazugehörige Realisierung an: Prototypenfertigung, Werkzeug- und Vorrichtungsbau sowie Kleinserienmanufaktur und Ersatzteilerfertigung an einem Produktionsstandort. Nach über 40 Jahren Erfahrung werden heute jährlich mehr als 30.000 Prototypen und Muster sowie etwa 20 Kleinserien gefertigt. Kunden sind dabei vorwiegend konzerninterne Bereiche und externe Kunden aus der Automobilindustrie. Zunehmend steigt die Nachfrage nach diesem Know-how auch bei Kunden aus anderen Industrien.

So ließ sich ein Sportwagenhersteller einen Bremssattel im SLM-Verfahren in Karben „drucken“. Ergebnis: Die Produktionszeit des Prototyps von 14 Wochen konnte bei gleichwertigen Materialeigenschaften auf sieben Tage reduziert werden. Neben Werkzeugen sind zum Beispiel komplexe Kühlkörper gefragt, die sich sowohl frei an die zu kühlenden Oberflächen anpassen lassen als auch durch eingearbeitete Kühlkanäle effektiv die Wärme abführen können. Auch die Kombination einer Baugruppe zu einem einzigen Bauteil wie zum Beispiel doppelwandige Rohrflansche ist eine Anwendung. So lassen sich durch das Reduzieren von Schweißflanschen und Wandungen gleichzeitig Gewicht und nachträgliche Fügeverfahren einsparen.



Batteriekühlung mit angepassten Kühlkanälen
(Quelle: Continental Engineering Services CES)

Abhängig davon, ob es um einfache mechanische Teile oder beispielsweise um hoch komplexe Steuergeräte geht, werden für jedes Projekt die am besten geeigneten Produktionstechnologien ausgewählt oder sinnvoll miteinander kombiniert. Die entsprechenden Werkstoffe in Kunststoff oder Metall werden für den 3D-Druck entweder per Selektivem Laser-Schmelzen (SLM), Selektivem Laser-Sintern (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM) oder Stereolithographie (SLA) verarbeitet. Die Integration in den Maschinenpark des CES-Segments Product Solutions eröffnet ADaM die ideale Voraussetzung, die additive Fertigung mit umfassender Technologieberatung, Nacharbeitsverfahren, klassischen Produktionsprozessen, Haltbarkeitstests und Validierungen zu kombinieren.

Mit dem Qualifikationslabor stehen am Continental-Konzernstandort Karben moderne Einrichtungen zur Validierung beziehungsweise Begutachtung von Bauteilen, von mechanischen Funktionstests über Umweltsimulationen bis zu Computertomografie-Scans zur Verfügung. Gemeinsam wird das Materialportfolio für die additive Fertigung fortwährend weiterentwickelt, analysiert und qualifiziert. Die Produktqualität entlang der gesamten Wertschöpfungskette wird dabei durch die Zertifizierung nach der Qualitätsmanagement-Norm der Automobilindustrie IATF 16949 sichergestellt.



Continental Engineering Services GmbH

CES Product Solutions

Stefan Kammann

Dieselstraße 6 - 20, 61184 Karben

Telefon: +49 6039 981 541

E-Mail: stefan.kammann@conti-engineering.com

www.conti-engineering.com

5. ÜBERBLICK

5.1 HESSISCHE UNTERNEHMEN UND FORSCHUNGSEINRICHTUNGEN

apc-tec Process.Engineering

Alexander Petri
Backhausstraße 28a, 65555 Limburg
Telefon: +49 6431 529175
E-Mail: info@apc-tec.de
www.apc-tec.de

Alesco Muster- Modell- und Prototypenbau GmbH

Rüdiger Irlé
Justus-von-Liebig-Straße 40, 63128 Dietzenbach
Telefon: +49 6074 918 848 01
E-Mail: info@alesco-gmbh.de
www.alesco-gmbh.de

B&S Zerspanungstechnik

Franz Jürgen Benz
Kleyerstraße 7, 64295 Darmstadt
Telefon: +49 6151 371 368
E-Mail: info@schreiber-mechanik.de
www.schreiber-mechanik.de

C.F.K. CNC-Fertigungstechnik Kriftel GmbH

Uwe Wötzel
Gutenbergstraße 8, 65830 Kriftel/Taunus
Telefon: +49 6192 9945 0
E-Mail: info@cfk-online.de
www.cfk-online.de

3D Systems

Deniz Okur (Marketing Manager)
Guerickeweg 9, 64291 Darmstadt
Telefon: + 49 6151 357 300
E-Mail: info@3dsystems.com
www.3DSYSTEMS.com

4D Concepts GmbH

Alex Di Maglie (Geschäftsführer)
Frankfurter Straße 74, 64521 Groß-Gerau
Telefon: +49 6152 92310
E-Mail: mail@4dconcepts.de
www.4dconcepts.de

Competence Center Additive Design and Manufacturing (ADaM)

Continental Engineering Services
Sascha Wörner
Dieselstraße 6-20, 61184 Karben
Telefon: +49 151 5267 8812
E-Mail: sascha.woerner-ext@conti-engineering.com
www.conti-engineering.com

Conspir3D GmbH

Jan Giebels
Berliner Straße 1, 64354 Reinheim
Telefon: +49 6162 9167296
E-Mail: info@conspir3d.com
www.conspir3d.com

DeguDent GmbH

Andreas Maier
Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau
Telefon: +49 6181 59-5800
E-Mail: info.degudent-de@dentsply.com
www.dentsply.com

EDAG Engineering GmbH

Dr. Martin Hillebrecht (Leiter CC Leichtbau, Werkstoffe & Technologie)
Reesbergstraße 1, 36039 Fulda
Telefon: +49 661 6000-610
E-Mail: info@edag.de
www.edag.de

Evonik Industries AG

Sylvia Monsheimer (PP-HP-GL-AT Director)
Paul-Baumann-Straße 1, 45772 Marl
Telefon: +49 2365 49-5911
E-Mail: info@evonik.com
www.evonik.com

FabLab Darmstadt

Christoph Tauchert
Magdalenenstraße 4, 64289 Darmstadt, Raum 015
Telefon: +49 6151 16-24339
E-Mail: kontakt@fablab.tu-darmstadt.de
www.fablab.tu-darmstadt.de

Fiberthree GmbH

Klaus Philipp (Geschäftsführer)
Nieder-Ramstädter-Straße 22, 64283 Darmstadt
Telefon: +49 6151 734 75 900
E-Mail: kontakt@fiberthree.de
www.fiberthree.com

FKM Sintertechnik GmbH

Jürgen Blöcher (Geschäftsführer)
Zum Musbach 6, 35216 Biedenkopf
Telefon: +49 6461 9551-0
E-Mail: info@fkm-sintertechnik.de
www.fkm-lasersintering.de

FRAME ONE

Mervyn Bienek
Bismarckstraße 10, 63065 Offenbach
Telefon: +49 157 54517715
E-Mail: hello@frameone.bike
www.frameone.bike

Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD

Prof. Dr. Philipp Urban (Head of Competence Center 3D Printing Technology)
Fraunhoferstraße 5, 64283 Darmstadt
Telefon: +49 6151 155-250
E-Mail: philipp.urban@igd.fraunhofer.de
www.igd.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Prof. Dr.-Ing. Tobias Melz (Institutsleiter)
Bartningstraße 47, 64289 Darmstadt
Telefon: +49 6151 705-252
E-Mail: info@lbf.fraunhofer.de
www.lbf.fraunhofer.de

Heraeus Holding GmbH

Tobias Caspari (Leiter Heraeus Additive Manufacturing)
Heraeusstraße 12-14, 63450 Hanau
Telefon: +49 6181 35-0
E-Mail: pr@heraeus.com
www.heraeus.com

Hochschule für Gestaltung Offenbach

Büro für Wissenstransfer
Ulrike Grünewald
Schlossstraße 31, 63065 Offenbach am Main
Telefon: +49 69 800 59-166
E-Mail: transfer@hfg-offenbach.de
www.hfg-offenbach.de/transfer

HP Deutschland GmbH

Bastian Weimer (3D Printing Channel Manager)
Hewlett-Packard-Straße 1, 61352 Bad Homburg
Telefon: +49 6172 26 888 05
E-Mail: bastian.weimer@hp.com
www.hp.com

IETEC Orthopädische Einlagen GmbH Produktions KG

Jürgen Stumpf (Geschäftsführer)
Am Frankengrund 3, 36093 Künzell
Telefon: +49 661 380070
E-Mail: info@ietec.de
www.ietec.de

invenio GmbH Engineering Services

Eisenstraße 9, 65428 Rüsselsheim
Thomas Repp (Bereichsleiter Geschäftsentwicklung)
Telefon: +49 6142 899-266
E-Mail: contact@invenio.net
www.invenio.net

JM Kunststofftechnik GmbH

Jürgen Merschroth (Geschäftsführer)
Akazienweg 25-27, 64665 Alsbach-Hähnlein
Telefon: +49 6257 96997-0
E-Mail: info@jm-kunststofftechnik.de
www.jmkunststofftechnik.de

Kegelmann Technik GmbH

Stephan Kegelmann (Geschäftsführer)
Gutenbergstraße 15, 63110 Rodgau-Jügesheim
Telefon: +49 6106 8507-10
E-Mail: info@ktechnik.de
www.ktechnik.de

Makerspace Gießen MAGIE

flux - impulse: Seipel, Nils & Schmid, Johannes GbR
Georg-Philipp-Gail-Straße 5, 35394 Gießen
E-Mail: info@flux-impulse.de
flux-impulse.de/magie

Makerspace Wiesbaden e.V.

Wandersmannstraße 60, 65205 Wiesbaden
Telefon: +49 152 292 260 92
E-Mail: info@makerspacewi.de
www.makerspacewi.de

Matsuura Machinery GmbH

Berta-Cramer-Ring 21, 65205 Wiesbaden-Delkenheim
Telefon: +49 6122 78 030
E-Mail: info@matsuura.de
www.matsuura.de

medacom GmbH

Olaf Gerlach
R.-Samesreuther-Str. 25, 35510 Butzbach
Telefon: +49 6033 74888-0
E-Mail: info@medacom.de
www.medacom.de

O.R. Lasertechnologie GmbH

Dieselstraße 15, 64807 Dieburg
Telefon: +49 6071 209 890
E-Mail: info@or-laser.com
www.or-laser.com

Perlon 3D Printing Filament

Ralf Hellinger
Hauptstrasse Nord 67, 69483 Wald-Michelbach
Telefon: +49 6207 9460
E-Mail: info@perlon.com
www.perlon.com

Philipps-Universität Marburg

Prof. Dr. Christine Knabe-Ducheyne, DDS, PhD
Georg-Voigt-Straße 3, 35039 Marburg
Telefon: +49 6421 58636-00
E-Mail: knabec@med.uni-marburg.de
www.med.uni-marburg.de

RKM - RotorKonzept Multikoptermanufaktur GmbH

Daniel Schmitt
Hauptstraße 113, 69518 Abtsteinach
Telefon: +49 6207 2033 533
E-Mail: info@rotorkonzept.de
www.rotorkonzept.de

sauer product GmbH

Martin Sauer (Geschäftsführer)
Frankfurter Straße 73, 64807 Dieburg
Telefon: +49 6071 2070-0
E-Mail: info@sauerproduct.com
www.sauerproduct.com

Schmitt Ultraschalltechnik GmbH

Stephan Jeßberger
Albert-Schweitzer-Straße 6, 63165 Mühlheim
Telefon: +49 6108 793 441
E-Mail: info@schmitt-ultraschall.de
www.schmitt-ultraschall.de

Tatcraft GmbH

Fabian Winopal (Geschäftsführer)
Gwinnerstraße 42, 60388 Frankfurt am Main
Telefon: +49 176 8314 04 68
E-Mail: corporate@tatcraft.de
www.tatcraft.de

Technische Hochschule Mittelhessen

Fachbereich Maschinenbau, Mechatronik und
Materialtechnologie
Prof. Dr.-Ing. Udo Jung
Am Dachspfad 10, 61169 Friedberg
Telefon: +49 6031 604 337
E-Mail: udo.jung@m.thm.de
www.m.thm.de

Technische Universität Darmstadt

Fachbereich Maschinenbau
Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl
Petersenstraße 30, 64287 Darmstadt
Telefon: +49 6151 16-6001
E-Mail: anderl@dik.tu-darmstadt.de
www.dik.tu-darmstadt.de

Technische Universität Darmstadt

Institut für Produktionsmanagement, Technologie
und Werkzeugmaschinen (PTW)
Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
Otto-Berndt-Straße 2, 64287 Darmstadt
Telefon: +49 6151 16-2156
E-Mail: abele@ptw.tu-darmstadt.de
www.ptw.tu-darmstadt.de

Technische Universität Darmstadt

Zentrum für Konstruktionswerkstoffe
Staatliche Materialprüfungsanstalt Darmstadt
Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde
Prof. Dr.-Ing. Matthias Oechsner
Telefon: +49 6151 16-24900
E-Mail: oechsner@mpa-ifw.tu-darmstadt.de
www.mpa-ifw.tu-darmstadt.de

Trondesign creators + engineers

Achim Reitze
Johanna-Waescher-Str. 5, 34131 Kassel
Telefon: +49 0561 92 88 080
E-Mail: info@trondesign.de
www.trondesign.de

Umicore AG & Co. KG

Andreas Brumby (Innovationsmanager)
Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau
Telefon: +49 6181 59-4886
E-Mail: info@eu.umicore.com
www.eu.umicore.com

Universität Kassel

Fachgebiet Massivbau
Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Fehling
Kurt-Wolters-Straße 3, 34109 Kassel
Telefon: +49 561 804-2608
E-Mail: fehling@uni-kassel.de
www.uni-kassel.de/fb14bau

Universität Kassel

Institut für Werkstofftechnik / Metallische Werkstoffe
Prof. Dr.-Ing. Thomas Niendorf
Sophie-Henschel-Haus,
Mönchebergstraße 3, 34125 Kassel
Telefon: +49 561 804 7018
E-Mail: niendorf@uni-kassel.de
www.uni-kassel.de

5.2 LITERATUR

Abele, E.: Einordnung und Ausblick von additiven Fertigungsverfahren aus produktionstechnischer Sicht. Vortrag anlässlich der Veranstaltung „Additive Manufacturing“ des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, Hanau, 23. September 2014.

Abele, E.; Anderl R.; Weiß P.: Rechnerunterstützte Entwicklung und Fertigung dentaler Produkte. Aachen, Shaker Verlag, 2015.

Anderson, C.: Makers. Das Internet der Dinge: die nächste industrielle Revolution. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2013.

Anderl, R.: Additive Manufacturing oder generative Fertigungsverfahren - vom Prototypen zur Massenfertigung? Vortrag anlässlich der Veranstaltung „Additive Manufacturing“ des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, Hanau, 23. September 2014.

Breuninger, J.; Becker, R.; Wolf, A.; Rommel, S.; Verl, A.: Generative Fertigung mit Kunststoffen: Konzeption und Konstruktion für Selektives Lasersintern. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2013.

Caviezel, C.; Grünwald, R.; Ehrenberg-Silies, S.; Kind, S.; Jetzke, T.; Bovenschulte, M.: Additive Fertigungsverfahren (3D-Druck). Hrsg. vom Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Arbeitsbericht Nr. 175, März 2017.

Fromm, Asko: 3D-Printing zementgebundener Formteile. Grundlagen, Entwicklung und Verwendung. Kassel, Hessen: Kassel University Press, 2014.

Frost & Sullivan 2016: 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.

Gebhardt, A.: Generative Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping - Tooling - Produktion. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 4. Auflage, 2013.

Harrop, J.: 3D printed electronics and circuit prototyping. 2015-2025. IDTechEx, 2015.

Herzog, R.; Ernsberger, M.: Metall-3D-Drucken auf dem Weg in die industrielle Serienfertigung. Vortrag anlässlich der Veranstaltung „Additive Fertigung für industrielle Anforderungen“ des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, TU Darmstadt, 12. September 2017.

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

ING Bank 2017: Economic and Financial Analysis „3D printing: a threat to global trade“, 28 September 2017, Amsterdam/NL.

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

Lux Research: How 3D Printing Adds Up: Emerging Materials, Processes, Applications, and Business Models. 30. März 2014.

Melz, T.; Thyse, C.: Additive Fertigungssysteme zur Erzeugung adaptiver Systeme. Vortrag anlässlich der Veranstaltung „Additive Fertigung für industrielle Anforderungen“ des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, TU Darmstadt, 12. September 2017.

Mordor Intelligence: Additive Manufacturing & Material Market - By Technology, Material and End-user. Geography, Trends, Forecast (2017-2022). Mordor Intelligence, November 2017.

Peters, S.: Materialrevolution - Nachhaltige und multifunktionale Materialien für Design und Architektur. Basel: Birkhäuser Verlag, 2011.

Peters, S.: Handbuch für technisches Produktdesign. Hrsg. Kalweit, Paul, Peters, Wallbaum. Berlin: Springer Verlag, 2. Auflage, 2011. Peters, S.: Materialrevolution II - Neue Nachhaltige und multifunktionale Materialien für Design und Architektur. Basel: Birkhäuser Verlag, 2014.

Richard, H. A.; Schramm, B.; Zipsner, T.: Additive Fertigung von Bauteilen und Strukturen. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.

Sander, P.: 3D-Druck im zivilen Flugzeugbau. Vortrag anlässlich der Veranstaltung „Additive Fertigung für die Mobilität“ des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, TU Darmstadt, 2. November 2017.

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

Warnier, C.; Verbruggen, D.; Ehrmann, S.; Klanten, R.: Dinge drucken - Wie 3D-Drucken das Design verändert. Berlin: Gestalten Verlag, 2014.

Wohlers, T.: Wohlers' Report 2015, 2016, 2017. Wohlers Association, USA.

TECHNOLOGIELAND HESSEN



Unter der Marke „Technologieland Hessen“ bündelt die Hessen Trade & Invest GmbH im Auftrag des Hessischen Wirtschaftsministeriums Maßnahmen für technologische Innovationen und unterstützt die hessische Wirtschaft bei Entwicklung, Anwendung und Vermarktung relevanter Zukunfts- und Schlüsseltechnologien.

Schlüsseltechnologien aus Hessen

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 Kompetenzfeldern bildet „Technologieland Hessen“ die unterschiedlichen Schlüsseltechnologien des Landes ab. Als kompetente Ansprechpartner haben wir zum Ziel, Technologien voranzutreiben und so die Position Ihres Unternehmens zu stärken.

Wir informieren, beraten und vernetzen Sie zu folgenden Themen:

- Material- und Nanotechnologien
- Additive Fertigung/3D-Druck
- Leichtbau und Bionik
- Optische Technologie/Photonik

Diese Schwerpunkte zählen zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Denn sie leisten Beiträge zur Umstellung auf eine nachhaltigere Wirtschaft und auf eine digitale dezentralisierte Industrie.

Unsere Serviceangebote umfassen:

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

Nutzen Sie diese Angebote und bringen Sie sich mit Ihren eigenen Ideen ein. Wir freuen uns auf den Dialog mit Ihnen!

Ihre Ansprechpartner im Kompetenzfeld Materialtechnologien:



Nicole Holderbaum
Projektmanagerin
Materialtechnologien
Telefon: +49 611 95017-8634
E-Mail: nicole.holderbaum@htai.de



Jerry Sigmund
Projektmanager
Materialtechnologien
Telefon: +49 611 95017-8625
E-Mail: jerry.sigmund@htai.de

Diese Publikationen könnten Sie auch interessieren:

- Leichtbau in Hessen: Potenziale, Projekte, Akteure
1. Auflage, Mai 2018
- Ressourceneffizienz in Hessen – Praxisbeispiele und Fördermöglichkeiten, 1. Auflage, April 2017
- Mit Ecodesign zu einer ressourcenschonenden Wirtschaft, 1. Auflage, Oktober 2015
- Kompetenzatlas Bionik in Hessen,
2. überarbeitete Auflage, November 2015

Über 20 weitere Publikationen zum Thema Materialtechnologien finden Sie auf unserer Webseite www.technologieland-hessen.de/publikationen.

IMPRESSUM



Wirtschaftsförderer für Hessen



HAUTE INNOVATION
MATERIAL AND TECHNOLOGY

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
Zukunftsagentur 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

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

Nicole Holderbaum,
Dr. David Eckensberger
Hessen Trade & Invest GmbH

Veröffentlichungsdatum

August 2018

Bildquellen

Titel: Kegelmann Technik GmbH,
Heraeus Holding GmbH, EDAG
Engineering GmbH, FRAME ONE,
S. 2: MarinaGrigorivna | shutterstock.com,
S. 4: Hessisches Ministerium für
Wirtschaft, Energie, Verkehr und
Landesentwicklung (HMWEVL),
S. 6: Zapp2Photo | shutterstock.com,
S. 60: vege | Fotolia.com,
S. 62: Frauenhofer LBF, FRAME ONE,
Frauke Taplik, Kegelmann Technik GmbH,
sauer product GmbH,
EDAG Engineering GmbH,
S. 90: Dr.-Ing. Carsten Ott,
Hessen Trade & Invest GmbH

Gestaltung

Piva & Piva
Heidelberger Straße 93
64285 Darmstadt

Druck

A&M Service GmbH
Hinter dem Entenpfuhl 13/15
65604 Elz

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

Vervielfältigung und Nachdruck – auch aus-
zugsweise – nur nach vorheriger schriftlicher
Genehmigung.

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffent-
lichkeitsarbeit der Hessen Trade & Invest GmbH
herausgegeben. 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 Kommunal-
wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die
Verteilung auf Wahlkampfveranstaltungen, an
Informationsständen der Parteien sowie das
Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben partei-
politischer 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 politi-
scher Gruppen verstanden werden könnte. Die
genannten Beschränkungen gelten unabhängig
davon, wann, auf welchem Weg und in welcher
Anzahl die Druckschrift dem Empfänger zuge-
gangen ist. Den Parteien ist es jedoch gestattet,
die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen
Mitglieder zu verwenden.

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf
eine geschlechtsspezifische Differenzierung von
funktions- bzw. personenbezogenen Bezeich-
nungen, wie zum Beispiel Teilnehmer/-innen,
verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im
Sinne der Gleichbehandlung für beide Ge-
schlechter.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für
die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Voll-
ständigkeit der Angaben sowie für die Beach-
tung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffent-
lichung geäußerten Ansichten und Meinungen
müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers
übereinstimmen.





Projekträger:



Wirtschaftsförderer für Hessen