



Statusreport

Additive Fertigungsverfahren

September 2014



Inhalt

1	Einleitung	2
2	Was sind additive Fertigungsverfahren?	4
3	Additive Fertigungsverfahren im industriellen Einsatz	5
	3.1 Technischer Reifegrad	5
	3.2 Typische Einsatzgebiete	6
4	Typische Branchen	8
5	Handlungsbedarf	11
	5.1 Werkstoffe	11
	5.2 Post-Prozess	11
	5.3 Fertigungsmaschinen/Fertigungsprozess	11
	5.4 Bauteileigenschaften und Qualitätskontrolle	12
	5.5 Konstruktionsempfehlungen	12
	5.6 Prozessintegration, Prozessautomatisierung	12
6	Rechtliche Rahmenbedingungen	13
	6.1 Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht	13
	6.2 Haftungsrechtliche Fragen	15
7	Bedeutung für den Wirtschaftsstandort Deutschland	17
	7.1 Individualisierung von Produkten	17
	7.2 Additive Fertigungsverfahren fördern den Wirtschaftsstandort Deutschland und sichern Arbeitsplätze	18
	7.3 Ressourcenschonung und Verkürzung der Transportwege	18
	7.4 Neue Geschäftsmodelle	18
8	Internationale Aktivitäten	19
	8.1 Öffentliche Förderung	19
	8.2 Die Marktstellung der deutschen Unternehmen im internationalen Vergleich	20
9	Aktivitäten des VDI	21
	9.1 VDI-Fachausschuss „Additive Manufacturing“	21
	9.2 Der VDI als Netzwerker - national und international	22
	Schrifttum	24

1 Einleitung

Mit der Gründung des Fachausschusses „Rapid Prototyping“ im Jahr 2003 und der Veröffentlichung der Richtlinie VDI 3404 im Jahr 2009 als erste technische Regel weltweit zum Thema additive Fertigungsverfahren haben wir, die ehrenamtlichen Mitarbeiter im VDI-Fachausschuss „Additive Manufacturing“, Pionierarbeit geleistet.

Hier in Deutschland haben Universitäten, Forschungseinrichtungen und junge Unternehmen das Potenzial der additiven Fertigungsverfahren sehr früh erkannt und daraus marktfähige Anlagen entwickelt, die von ihren Anwendungen im Prototypenbau den Weg in die Fertigung von Endprodukten gefunden haben. Es ist ein neuer Wirtschaftszweig entstanden, der mit der gesamten Wertschöpfungskette von der Werkstoffherstellung über den Anlagenbau, den additiven Fertigungsverfahren als Dienstleistung und der Integration von additiv gefertigten Bauteilen in neue Produkte in viele Branchen ausstrahlt.

Mit diesem Statusreport wollen wir auf das Potenzial der additiven Fertigungsverfahren insbesondere für die mittelständische Industrie in Deutschland hinweisen. Bei der Herstellung von qualitativ hochwertigen Produkten in kleinen Stückzahlen helfen die additiven Fertigungsverfahren, die Produktentwicklungszeiten drastisch zu verkürzen und schneller am Markt zu sein.

Additive Fertigungsverfahren sind bereit, ihren Platz in den Fertigungshallen neben Mehrachs-Bearbeitungsmaschinen und Spritzgussanlagen einzunehmen. In einigen Unternehmen haben sie diesen Platz heute schon gefunden. Doch wir wollen nicht verleugnen, dass es bei den additiven Fertigungsverfahren noch viel zu verbessern gibt, und fassen die wichtigsten „Baustellen“ in diesem Statusreport zusammen.

Auch international finden die additiven Fertigungsverfahren große Beachtung. Anlagenhersteller bauen ihre Kompetenzen – teils mit massiver staatlicher Unterstützung – systematisch aus und die Anwender nutzen die neuen Möglichkeiten kreativ für neue Produkte und Dienstleistungen.

Wir, die Forscher, Entwickler und Nutzer der additiven Fertigungsverfahren, stehen vor der Herausforderung, unsere langjährige Erfahrung und unsere hervorragende Wettbewerbsfähigkeit heute zu nutzen, um in diesem Wachstumsmarkt international führend zu bleiben. Durch Verfahrensoptimierungen werden die additiven Fertigungsverfahren für immer mehr Aufgaben wirtschaftlich – daran arbeiten wir. Wir sind überzeugt, dass die additiven Fertigungsverfahren heute schon häufiger in der industriellen Produktion eingesetzt werden können, als dies in Deutschlands Werkshallen praktisch der Fall ist.

Dieser Statusreport soll helfen, den praktischen Nutzen in der Produktion realistisch darzustellen. Ein kleiner Wettbewerbsvorteil vieler Unternehmen ist ein großer Gewinn für die Volkswirtschaft und damit für uns alle.



Prof. Dr.-Ing. Gerd Witt

Vorsitzender des VDI-Fachausschusses
„Additive Manufacturing“

Die Autoren dieses Statusreports sind Mitglieder des VDI-GPL Fachausschusses FA 105 „Additive Manufacturing“ und zur Mitarbeit an diesem Papier eingeladene Gäste des Gremiums:

- Prof. Dr. jur. habil. Dr. rer. pol. Jürgen Ensthaler, Technische Universität Berlin, Berlin (Abschnitt „Rechtliche Rahmenbedingungen“)
- Dipl.-Ing. Tobias Grimm, Universität Duisburg-Essen, Duisburg
- Dipl.-Ing. (FH) Benjamin Günther, Concept Laser GmbH, Lichtenfels
- Gregor Jell, Gregor Jell Werkzeugelemente, Bernau
- Jörg Lenz, EOS GmbH, Krailling
- Dr.-Ing. Erik Marquardt, VDI e.V., Düsseldorf
- Dr.-Ing. Maximilian Munsch, implantcast GmbH, Buxtehude
- Rechtsanwältin Anne-Kathrin Müller, Technische Universität Berlin, Berlin (Abschnitt „Rechtliche Rahmenbedingungen“)
- Dipl.-Ing. Klaus Müller-Lohmeier, Festo AG & Co. KG, Esslingen
- Ralf Paehl, 3M Orthodontic Products, Bad Essen
- Dr.-Ing. Olaf Rehme, Siemens AG, Berlin
- Stefanie Rieker, voxeljet AG, Friedberg
- Dr.-Ing. Jan T. Sehr, Universität Duisburg-Essen, Duisburg
- Dr.-Ing. Sabine Sändig, ifw Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH, Jena
- Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Witt, Universität Duisburg-Essen, Duisburg

2 Was sind additive Fertigungsverfahren?

„Rapid Prototyping“ und „3-D-Druck“ – unter diesen Namen sind die additiven (generativen) Fertigungsverfahren in der Öffentlichkeit bekannt geworden. Unter „additiv“ werden alle Herstellverfahren zusammengefasst, bei denen der Werkstoff zur Erzeugung eines Bauteils schichtweise hinzugefügt wird. Das steht im Gegensatz zu den klassischen subtraktiven Fertigungsverfahren wie Fräsen, Bohren und Drehen, bei denen Material abgetragen wird, um das endgültige Bauteil zu erzeugen. Das Schichtbauprinzip ermöglicht es, geometrisch komplexe Strukturen herzustellen, die mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht oder nur aufwendig realisiert werden können.

Rapid Prototyping ist eine Anwendung der additiven Fertigungsverfahren, mit der Modelle und Prototypen hergestellt werden. Diese können bereits wichtige Merkmale und Eigenschaften wie mechanische Festigkeit oder Farbe des späteren Endprodukts haben (Bild 1).



Bild 1. Weiterhin wichtig für eine effiziente Produktentwicklung: die additiven Fertigungsverfahren im Prototypenbau (Quelle: alphacam)

Bei den Extrusionsverfahren wird ein Kunststoffaden durch eine beheizte Düse aufgeschmolzen und geometrisch definiert abgelegt. Das Bauteil wächst zusammen, indem punktgenau einzelne Materialstränge Schicht für Schicht dort dosiert werden, wo weiteres Material für das endgültige Bauteil benötigt wird. Dieses Verfahren ist bei Privatanwendern/Heimdruckern weit verbreitet. Es findet aber auch in Maschinen für den professionellen Einsatz Verwendung.

Bei den pulverbasierten Prozessen wird pulverisiertes Ausgangsmaterial in einer dünnen Schicht auf die Arbeitsfläche auftragen. Beim anschließenden punktgenauen Aufschmelzen mit einem Laser wächst das aufgeschmolzene Material beim Wiedererstarren mit den darunter liegenden Strukturen und der direkten Nachbarschaft zusammen. Wenn eine Schicht fertig ist,

wird wieder eine dünne Schicht frisches Pulver aufgetragen und der Vorgang beginnt von neuem. So wächst das Bauteil aus dem Pulver zusammen (Bild 2).

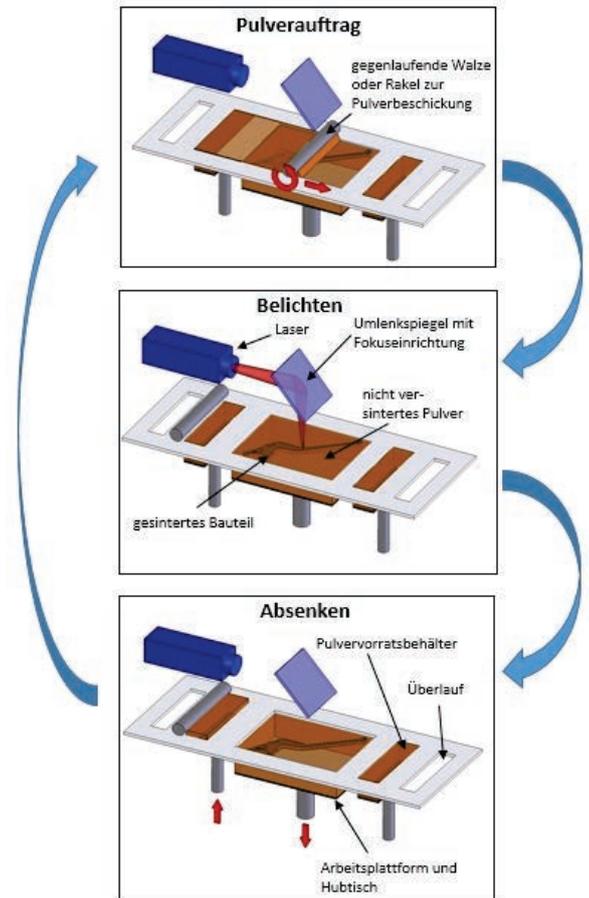


Bild 2. Prinzip der pulverbettbasierten additiven Fertigungsverfahren am Beispiel des Laser-Sinterns (Quelle: RTC Universität Duisburg-Essen)

Der Vorteil des Laser-Verfahrens ist, dass es nicht nur mit Kunststoffen funktioniert. Die Verarbeitung von Metallen wird Laser-Strahlschmelzen und die von Kunststoffen Laser-Sintern genannt. Die Bauteile, die so hergestellt werden, weisen so gute mechanische Eigenschaften auf, dass sie als finale Produkte verwendet werden können (Bild 3). Der Prozess wird daher auch „Rapid Manufacturing“ genannt.

Wie schon erwähnt, in den Medien werden oft alle additiven Fertigungsverfahren als 3-D-Druck zusammengefasst. Die Experten verstehen darunter aber nur ein spezielles Verfahren, bei dem wie bei den pulverbasierten Prozessen loses Partikelmaterial gleichmäßig auf die gesamte Baubreite aufgetragen wird. Wo das Bauteil entstehen soll, wird hier per Druckkopf

Bindemittel aufgetragen, das die jeweils zuletzt aufgetragene Schicht benetzt und mit der darunter liegenden verbindet. Es können unterschiedliche Werkstoffe, so auch Keramiken, mit diesem Verfahren verarbeitet werden. Industriell relevant ist die Möglichkeit, mit diesem Verfahren Sandformen für den Metallguss herzustellen.

Eine genaue Beschreibung der verschiedenen Prozesse und Verfahren, die unter dem Begriff „Additive Fertigungsverfahren“ zusammengefasst werden, findet sich in der Richtlinie VDI 3404.



Bild 3. Gebogener Schieber (links) aus Stahl mit innen liegender Kühlung (rechts, skizziert) (Quelle: Gregor Jell Werkzeugelemente)

Das Bauteil wird in einer Spritzgussmaschine eingesetzt. Durch die besondere Bauform wird die Zykluszeit bei gleichzeitiger Steigerung der Produktqualität gesenkt.

3 Additive Fertigungsverfahren im industriellen Einsatz

3.1 Technischer Reifegrad

Additive Fertigungsverfahren im industriellen Umfeld mit Kunststoffen und Metallen als Werkstoff sind Stand der Technik. Keramiken und andere Werkstoffe können ebenfalls additiv verarbeitet werden, doch ist deren Bedeutung für die industrielle Produktion derzeit noch verhältnismäßig gering.

Die Prozesskette der additiven Fertigungsverfahren ist komplex und beinhaltet zahlreiche Wechselwirkungen. Sie erfordert Fachkenntnisse in unterschiedlichsten Disziplinen.

Beim Produktdesign müssen nicht nur die Anforderungen an das Produkt, sondern auch die spezifischen Randbedingungen des additiven Fertigungsverfahrens berücksichtigt werden (Bauteilorientierung, Stützstrukturen/Pulverentfernung, thermische Eigenspannung usw.).

Für die additiven Fertigungsverfahren werden die CAD-Daten aufbereitet, um Inkonsistenzen im Datensatz zu entfernen. Der Werkstoff muss geeignet gelagert werden und reproduzierbare mechanische und chemische Eigenschaften haben. In der Fertigungsmaschine muss die Eigenerwärmung kompensiert und

das Abkühlverhalten des Bauteils berücksichtigt werden. Der Werkstoff muss zur Fertigungseinrichtung befördert und Reste wieder abtransportiert werden.

Im Post-Prozess muss das Produkt entnommen, gereinigt, gegebenenfalls wärmebehandelt oder mechanisch nachbearbeitet werden.

Bei der Qualitätssicherung muss das Produkt zerstörungsfreien bildgebenden Verfahren zugeführt werden (Bild 4). Die Bilddaten müssen ausgewertet werden. Bei zerstörenden Stichprobenprüfungen muss das Produkt für die Prüfung aufbereitet und das Messergebnis bewertet und dokumentiert werden.

Beim aktuellen Stand der Technik ist es nicht ungewöhnlich, dass alle genannten Prozessschritte eine Interaktion des Bedieners erforderlich machen. Es gibt starke Bemühungen, die jeweiligen Schritte zu vereinfachen oder gänzlich zu automatisieren. Ein Automatisierungsgrad vergleichbar mit Spritzgussmaschinen, spanenden Bearbeitungszentren oder Stanzstraßen ist jedoch noch in weiter Ferne. Um heute das Potenzial additiver Fertigungsverfahren voll auszuschöpfen, ist hoch qualifiziertes Fachpersonal in allen Prozessschritten erforderlich. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass in engen Toleranzen reproduzierbare Produkte schwierig herzustellen sind. Dabei

beziehen sich die Toleranzen nicht nur auf die geometrischen Abmessungen, sondern auch auf die mechanischen Kennwerte und die Oberflächengüte.

3.2 Typische Einsatzgebiete

Die herausragenden Merkmale der additiven Fertigungsverfahren sind, dass zur Herstellung von individuellen Produkten keine speziellen Werkzeuge benötigt werden, geometrische Restriktionen konventioneller Fertigungsverfahren wie Hinterschnitte entfallen und Funktionen wie beispielsweise Leichtbaustrukturen bereits im additiven Fertigungsprozess in die Produkte integriert werden können. Daraus folgt, dass sie für folgende Einsatzgebiete besonders geeignet sind:

Kleine Stückzahlen und/oder kundenspezifisch angepasste Produkte

Werkzeuge, wie sie beispielsweise im Spritzguss eingesetzt werden, werden zur Massenfertigung genutzt, doch die Werkzeuge selber als Einzelstücke hergestellt. Bild 5 zeigt einen Kern mit Spiralkühlung, der eine verkürzte Zykluszeit ermöglicht.

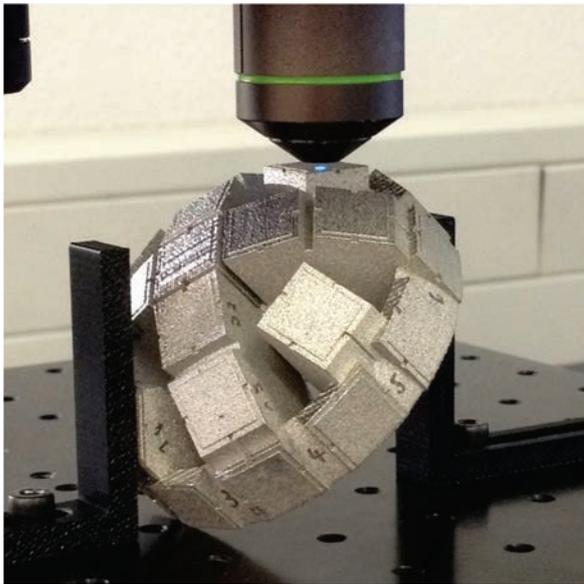


Bild 4. Flächenhafte Analyse der Oberflächenstruktur eines laserstrahlgeschmolzenen Probekörpers mit einem Konfokalmikroskop. (Quelle: NanoFocus AG/RTC Universität Duisburg-Essen)



Bild 5. Zeichnung eines Kerns mit innen liegender Kühlung (oben) und Foto der additiv gefertigten Bauteile vor und nach der Politur (unten). (Quelle: Gregor Jell Werkzeugelemente)

Fertigung nach Bedarf

Wenn der Erfolg einer Entwicklung nicht sicher vorhersagbar ist, ist eine additive Pilotfertigung eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative. Anfangsinvestitionen werden dadurch minimiert und das Produkt kann schnellstmöglich an den Markt gebracht werden. Wenn das Produkt erfolgreich ist, wird auf massentaugliche Fertigungsverfahren umgestellt.

Fertigung vor Ort

Bei der Fertigung vor Ort sind additive Fertigungsverfahren auf einer Mondbasis [1] aktuell noch Zukunftsvisionen – und werden es vielleicht auch bleiben. Aber die Idee, dass Produkte an allen Standorten einer Firma weltweit produziert werden, und auf kurzen und schnellen Wegen zum Kunden kommen, hat auch für industrielle Anwender hier und heute Relevanz.

Fertigung von Ersatzteilen für ältere Serienprodukte

Die Kombination der Fertigung nach Bedarf und der Fertigung vor Ort erlauben es, die Lagerhaltung von Ersatzteilen massiv zu reduzieren. Diese sind additiv herstellbar, wenn sie gebraucht werden. Das ist vor allem für die Unternehmen attraktiv, die für ihre Produkte eine lange Ersatzteilverfügbarkeit garantieren. Außerdem realisiert sich damit ein Traum aller Servicetechniker, die weltweit Industrieanlagen reparieren. Die Sorge, nicht die richtigen Ersatzteile dabei zu haben, entfällt mit additiv herstellbaren Bauteilen. Die Kunden profitieren von kürzeren Stillstandzeiten.

Der Ersatzbremshebel fürs Fahrrad aus dem heimischen 3-D-Drucker sollte aus guten Gründen ein Wunschtraum der Tüftler bleiben. Dahingegen zeigt Bild 6 einen mit dem Laser-Strahlschmelzen hergestellten und voll belastbaren Bremshebel sowie eine Fußraste aus Metall.

Was spricht also dagegen, dass zukünftig der Autovertrags Händler vor Ort die Ersatzteile seltener Modelle mit zertifizierten Anlagen direkt fertigt? Das wird vor allem realistisch, wenn Konstrukteure die additiven Fertigungsverfahren zur Herstellung von Ersatzteilen direkt bei der Produktfreigabe als zweite zulässige Fertigungsoption berücksichtigen.

Verkürzung der Iterationszyklen bei der Produktentwicklung

Mit additiven Fertigungsverfahren wird die Zeit zwischen der Fertigstellung einer Konstruktionszeichnung, dem Produktionsbeginn und der Verfügbarkeit erster Produkte minimiert.

Ein Beispiel: In der Kunststoffverarbeitung ist es nicht ungewöhnlich, dass nach Fertigstellung der Konstruktionszeichnung drei Monate oder mehr vergehen, bis eine Spritzgussform bei einem entsprechenden Dienstleister angefragt, angeboten, beauftragt, konventionell gefertigt und einsatzbereit ist. Erst dann können erste Produkte praktisch getestet werden. Mit additiven Fertigungsverfahren liegen die Bauteile schon nach wenigen Stunden vor, wenn die entsprechenden Fertigungsmaschinen im eigenen Haus sind. Selbst wenn die Bauteile extern von einem Dienstleister gefertigt werden, reduziert sich die Zeit zwischen der Fertigstellung der Zeichnung und dem Vorliegen erster Produkte auf wenige Tage.



Bild 6. Bremshebel und Fußraste als laserstrahlgeschmolzene Ersatzteile (Quelle: RTC Universität Duisburg-Essen)

Iterationszyklen der Produktentwicklung lassen sich von Monaten auf Stunden oder Tage verkürzen.

Leichtbau

Mit additiven Fertigungsverfahren lassen sich filigrane Strukturen, wie sie im Leichtbau erforderlich sind, besonders effektiv realisieren (Bild 7).

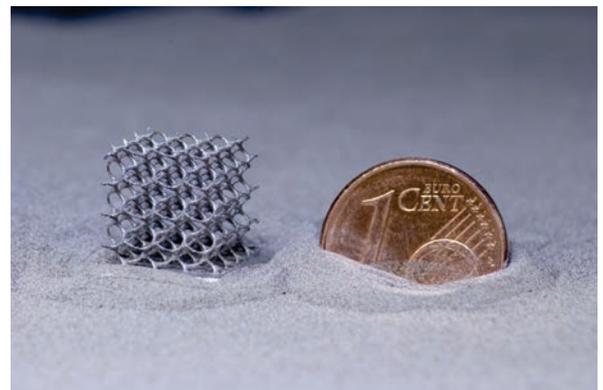


Bild 7. Mit additiver Fertigung können Leichtbaustrukturen realisiert werden, die anders nicht herstellbar sind. (Quelle: RTC Universität Duisburg-Essen/Ralf Schneider)

4 Typische Branchen

Nach einer Studie des Direct Manufacturing Research Center (DMRC) an der Universität Paderborn [2] bieten die folgenden Branchen besonders häufig Randbedingungen, unter denen der Einsatz der additiven Fertigungsverfahren sinnvoll ist:

- Luft- und Raumfahrtindustrie, Rüstungsindustrie [3]
- Automotive-Industrie (Bild 8)
- Werkzeug- und Formenbau (Bild 3)
- Automatisierungstechnik, Maschinen- und Anlagenbau (Bild 9)
- Medizintechnik, Prothetik (Bild 10), Dentaltechnik (Bild 11), medizinische Hilfsmittel

Individuell an den Patienten angepasste Produkte fördern in der Medizin den Behandlungserfolg.

- Elektronik
- Möbelindustrie
- Nahrungsmittelindustrie
- Sportgeräteindustrie
- Bekleidungsindustrie
- Spielwarenindustrie und Fertigung von Sammlerstücken



Bild 8. Laser-gesinterter Lüftungseinlass für die Automotive-Industrie (Quelle: RTC Universität Duisburg-Essen)

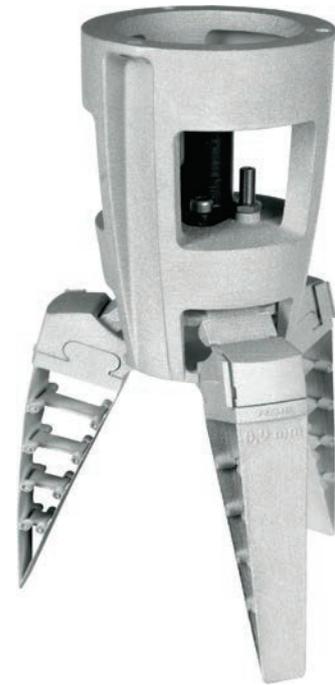


Bild 9. Additiv gefertigter adaptiver Greifer (Quelle: Festo)

Ausgehend von einer Standardkonstruktion wird der abgebildete Greifer anwendungsspezifisch modifiziert und dann in einen Fertigungsschritt span- und werkzeuglos kurzfristig gefertigt.



Bild 10. Für einen Patienten individuell additiv gefertigter Beckenteilersatz aus einer biokompatiblen Titanlegierung mit offenkarierte Struktur an der Knochen-Implantat-Schnittstelle (Quelle: implantcast)



Bild 11. Mithilfe additiver Fertigungsverfahren hergestellte passgenaue Brackets zur Kieferkorrektur (Quelle: 3M Orthodontic Products)

Auch jenseits der industriellen Fertigung werden additive Fertigungsverfahren erfolgreich eingesetzt.

Architektur

Die Präsentation ihrer Entwürfe und Modelle ist für Architekturbüros von entscheidender Bedeutung. Immer mehr Architekten setzen dabei auf additiv gefertigte Architekturmodelle.

Die detailreichen und maßstabsgetreuen Kunststoffmodelle stehen für höchste Professionalität in der Darstellung und vermitteln den Bauherren ein realistisches Bild von Bauwerken oder Gebäudekomplexen (Bild 12).



Bild 12. Additiv gefertigtes Architekturmodell (Design: Architekt W. Schmidt, Quelle: voxeljet)

Film und Unterhaltung

Das anspruchsvolle Filmpublikum verlangt nach realistischer Darstellung von Filmkulissen und Actionszenen. Führende Filmstudios und Modellbauer in aller Welt nutzen dabei die Möglichkeiten der additiven Fertigungsverfahren.

Mit hochauflösenden Anlagen lassen sich konkrete Objekte wie der Dienstwagen von James Bond oder komplette Scheinwelten schnell und kostengünstig, maßstabsgetreu und fotorealistisch mit maximaler Detailtreue erstellen. Das in Bild 13 gezeigte Beispiel wurde in einem gemeinsamen Projekt von Propshop Modelmakers Ltd und voxeljet erstellt.



Bild 13. Additiv gefertigtes Karosseriemodell eines Aston Martin (oben) und fertig aufbereitetes Modell (unten) für eine Filmproduktion. (Quelle: Propshop Modelmakers)

Kunst

Künstlern und Designern eröffnen die additiven Fertigungsverfahren bis dato ungeahnte Möglichkeiten. Mit der innovativen Technologie lassen sich Kunstwerke, Skulpturen und Designobjekte aus unterschiedlichen Werkstoffen direkt nach CAD-Daten herstellen.

Visionen und Ideen werden damit in einem Schritt zur Realität – einfach, schnell und unkompliziert (Bild 14).



Bild 14. Die Designer und Künstler haben die additiven Fertigungsverfahren schon für sich entdeckt.
(Quelle: Gregor Jell Werkzeugelemente)

5 Handlungsbedarf

Trotz der rasanten Entwicklung der additiven Fertigungstechnologie in den letzten Jahren, besteht aus industrieller Sicht weiterhin ein großer Handlungsbedarf. Das DMRC hat untersucht, welche technologischen Fortschritte in den additiven Fertigungsverfahren wünschenswert sind und welche aus heutiger Sicht realisierbar erscheinen. Die Zusammenfassung ist in der Roadmap „Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing“ erschienen [4]. Die zentralen Technologiefelder werden in den nächsten Abschnitten vorgestellt.

5.1 Werkstoffe

Die Auswahl an geeigneten Werkstoffen für additive Fertigungsverfahren muss erweitert werden. Das gilt besonders für folgende Werkstoffgruppen:

- technische Thermoplaste
- natürliche und organische Werkstoffe
- biokompatible, biologisch abbaubare Werkstoffe
- Nano-Werkstoffe
- Keramiken
- farbige Werkstoffe
- Metall-Komposite

Parallel zur Entwicklung von speziellen Werkstoffen für besondere Anwendungsfelder müssen die bestehenden Werkstoffe in ihren Eigenschaften verbessert werden. Das gilt insbesondere hinsichtlich folgender Parameter:

- Brandschutz
- elektrische Isolationseigenschaften
- Alterungsverhalten
- Reproduzierbarkeit der Werkstoffeigenschaften

Werkstoffe für additive Fertigungsverfahren können teilweise nur von einzelnen Herstellern geliefert werden. Die durch Lieferzeiten begrenzte Werkstoffverfügbarkeit muss verbessert werden. Die Werkstoffproduktion muss mit dem vermehrten Einsatz des Fertigungsverfahrens Schritt halten.

5.2 Post-Prozess

Durch die Verbesserung der Oberflächenqualität muss die Notwendigkeit zur Nacharbeit von additiv gefertigten Bauteilen reduziert werden. Additiv gefertigte Bauteile werden derzeit je nach Anwendungsfall den Anforderungen an die Haptik und die visuelle Anmutung der Bauteile ohne einen Post-Prozess nicht gerecht.

Die bestehenden Technologien zur Oberflächenbeschichtung (Coating) der additiv gefertigten Bauteile (vergleiche Bild 13) müssen erweitert werden und breiter nutzbar sein.

5.3 Fertigungsmaschinen/Fertigungsprozess

Mit additiven Fertigungsverfahren dauert der Bau eines einzelnen Teils unter Umständen mehrere Stunden. Je nach Bauteil ist die spanende Bearbeitung schneller, und der Fertigungstakt einer Spritzgussmaschine ist unerreichbar. Häufig ist eine Kleinserienproduktion oder gar eine Massenfertigung daher nur mit dem parallelen Einsatz einer Vielzahl von Fertigungsmaschinen realisierbar. Damit ergeben sich folgende Optimierungspotenziale der Fertigungsmaschinen:

- Erhöhung der Prozessgeschwindigkeit (beispielsweise durch multiplen Lasereinsatz)
- homogenere Temperaturverteilung im Bauraum
- Parallelverarbeitung mehrerer Werkstoffe in einem Bauteil und einer Maschine
- Vergrößerung der möglichen Bauteildimensionen

Die gesamten Prozesse der additiven Fertigungsverfahren bieten ebenfalls Verbesserungspotenzial. Das bezieht sich auf:

- Rüstzeiten
- Datenaufbereitung
- Betriebskosten

- Prozessstabilität, Reproduzierbarkeit
- Bedienerfreundlichkeit: Zum Betrieb der Anlagen sind heute hoch qualifizierte Fachleute, häufig sogar Akademiker, erforderlich.

Auch zur Steigerung der Prozessstabilität muss die Bedienung der Anlagen einfacher werden.

5.4 Bauteileigenschaften und Qualitätskontrolle

Abgesehen von der Prozessoptimierung für einen wirtschaftlicheren Betrieb ist auch eine Steigerung der Produktqualität erforderlich. Hier stehen folgende Qualitätsmerkmale im Fokus, für die entsprechende Qualitätssicherungsprozesse definiert werden müssen:

- mechanische Eigenschaften/Lastwechselfestigkeit
- Oberflächengüte
- thermische Spannungen im Bauteil

5.5 Konstruktionsempfehlungen

Die additiven Fertigungsverfahren haben ihren Ursprung im Prototypenbau. Das heißt, dass damit Muster hergestellt werden, die vom Design her für andere Herstellungsverfahren, zum Beispiel dem Spritzguss, optimiert wurden. Mittlerweile können mit additiven Fertigungsverfahren so gute mechanische Eigenschaften realisiert werden, dass die damit hergestellten Bauteile direkt als Endprodukt eingesetzt werden können. Mit additiven Fertigungsverfahren lassen sich Freiformflächen, Hinterschnitte und innen liegende Hohlräume besonders gut realisieren. Daher ist es wichtig, dass Produktentwickler und Konstrukteure die speziellen Eigenschaften der additiven Fertigungsverfahren kennen, um deren Potenzial voll auszuschöpfen. Der VDI-Fachausschuss „Additive Manufacturing – Konstruktionsempfehlungen“ hat das erkannt und fasst in der Richtlinie VDI 3405 Blatt 3 (in Vorbereitung) die Erkenntnisse zu diesem Thema zusammen. Damit ist ein erster, wichtiger Schritt getan. Der Schulungs- und Fortbildungsbedarf ist jedoch noch groß, damit die additiven Fertigungsverfahren wie selbstverständlich bei Konstruktionen als eine Fertigungsoption berücksichtigt werden.

Parallel zur Verankerung der additiven Fertigungsverfahren im Bewusstsein der Konstrukteure müssen Softwaretools entwickelt werden, die die Konstrukteure von Routinearbeiten entlasten. Da additive Fertigungsverfahren besonders geeignet sind, filigrane

Strukturen mit Verästelungen, variablen Durchmessern und nicht periodischer Anordnung zu realisieren, werden zukünftig vermehrt Software-Tools benötigt, die beispielsweise entsprechende bionisch optimierte Konstruktionen automatisch erzeugen. Grundprinzipien der bionischen Optimierung werden in der Richtlinie VDI 6224 Blatt 2 erläutert. Bis diese Prinzipien als Softwarebaustein für gängige CAD-Programme zur Verfügung stehen, ist noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten.

Die additiven Fertigungsverfahren müssen als Fertigungsoption in das Bewusstsein der Konstrukteure und Produktionsplaner gelangen.

5.6 Prozessintegration, Prozessautomatisierung

In der industriellen Serienproduktion ist es üblich, dass Produkte von Verarbeitungsschritt zu Verarbeitungsschritt von automatisierten Transportsystemen weitergeleitet werden. Wenn Zulieferbauteile (z. B. ein Spritzgussteil) in undefinierter Lage in einem Behälter angeliefert werden, werden diese für die Weiterverarbeitung üblicherweise automatisiert vereinzelt und für die Weiterverarbeitung von einem Kamerasystem durch industrielle Bildverarbeitung exakt positioniert.

Vor diesem Hintergrund stellen die vielfältigen manuellen Interaktionen in der „additiven Manufaktur“ einen Bruch in einer automatisierten Prozesskette dar.

Die Ursprünge des Fertigungsverfahrens erklären die zahlreichen händischen Eingriffe zum Befüllen der Anlage, zum Starten des Prozesses, zur Entnahme der Bauteile und zu deren Reinigung: Im Prototypenbau und in der Kleinstserienproduktion wird nur damit die notwendige Flexibilität erreicht. Doch wenn die geometrischen Strukturen, die praktisch nur additiv erzeugt werden können, für die Auswahl des Verfahrens entscheidend sind, und diese in Stückzahlen hergestellt werden sollen, ist die derzeit schwierige Prozessintegration ein wichtiger Aspekt.

Unter dem Begriff „Laserauftragsschweißen“ sind Techniken bekannt, auf bestehenden Werkstücken lokal Material hinzuzufügen (DVS 3215). Diese Technik wird beispielsweise zur Instandsetzung verschlissener Bauteile eingesetzt. Dieses Verfahren wird bereits in Kombination mit der spanenden Bearbeitung angeboten [5]. Aktuell ermöglichen es auch erste Anlagen, die das Laser-Strahlschmelzen einsetzen, konventionell gefertigte Rohlinge durch additive Fertigungsverfahren zu vervollständigen [6]. Angesichts der langen Bauzeiten für größere Teile ist dies ein wirtschaftlich wichtiger Schritt. Da die Fläche, auf der

additiv gefertigte Strukturen ergänzt werden können, absolut eben und perfekt zur Baurichtung ausgerichtet sein muss, ist die Anwendbarkeit auf spezielle Aufgabenstellungen begrenzt. Die Ingenieure brauchen noch viele gute Ideen, bis sich die additiven Fertigungsverfahren generell so flexibel mit anderen Bearbeitungsmethoden kombinieren lassen, wie beispielsweise das Fräsen und Bohren in einer modernen Werkzeugmaschine.

Es gibt erste Beispiele, wie CAD-Konstruktionen automatisiert in Standardbauteile und additiv herzustellende Elemente aufgeteilt werden können [7]. Diese für den Heimbedarf und den Prototypenbau entwickelten Konzepte sollten auch für industrielle Anforderungen verallgemeinert werden. Vor allem bei großen Objekten sollte untersucht werden, welche Bau-

gruppen aus Standardkomponenten aufgebaut werden können und welche additiv zu fertigen sind, um die spezifischen Produktmerkmale zu erzielen.

In der konventionellen Fertigung ist es selbstverständlich, unterschiedliche formgebende Fertigungsverfahren und Verbindungstechniken zu kombinieren, um möglichst effizient zur gewünschten Geometrie zu kommen.

Die additiven Fertigungsverfahren setzten bislang voraus, exklusiv eingesetzt zu werden. Die notwendigen Nacharbeiten an additiv gefertigten Bauteilen werden als (derzeit) notwendiges Übel angesehen.

Wenn es gelingt, in einer Prozesskette additive Fertigungsverfahren frei mit anderen Prozessen zu kombinieren, ergeben sich neue Möglichkeiten und wirtschaftlichere Lösungen.

6 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die additiven Fertigungsverfahren werfen als neue Technologie zur Herstellung marktfähiger Produkte in vielerlei Hinsicht neue Rechtsfragen auf:

- Produkte, die schnell und kostengünstig plagiiert werden können, können ohne patent- oder auch urheberrechtlichen Schutz nicht wirtschaftlich vertrieben werden.
- Es ist die Frage zu beantworten, wo im Zusammenhang mit den additiven Fertigungsverfahren Produkthaftungsrisiken für die Hersteller bestehen.

Die beiden genannten rechtlichen Regelungsbereiche sollen im Folgenden zumindest so dargestellt werden, dass eine erste Einschätzung der juristischen Fragen in Bezug auf die neuen Fertigungsverfahren möglich ist oder aber zumindest ungeklärte Probleme angesprochen werden. Produkthaftungsrisiken und die Möglichkeit eines rechtlich gewährleisteten Produktschutzes sind bei Einführung neuer Technologien die ganz zentralen Fragen an das Recht. Kein Unternehmen kann ohne Kenntnis über die für seine Produkte spezifischen Haftungsrisiken in den Markt gehen und die Frage nach den gewerblichen Schutzrechten und dem urheberrechtlichen Schutz stellt sich insbesondere bei programmbezogenen Produkten. Dies ist bei den additiven Fertigungsverfahren im besonderen Maße gegeben.

6.1 Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht

Ausgangspunkt der additiven Fertigungsverfahren sind digitale, dreidimensionale Daten (3-D-Daten), die für die additiven Fertigungsanlagen in ein sogenanntes Facettenmodell (STL, AMF) umgewandelt werden können. Die 3-D-Daten können auf verschiedene Arten erstellt werden. Eine Art ist die Erstellung mittels einer CAD-Software am Computer. Ebenso möglich ist die 3-D-Digitalisierung (Reverse Engineering), bei der im Rahmen taktiler oder optischer Messverfahren (3-D-Scanner) die räumliche Anordnung der Oberfläche realer Objekte aufgenommen und digital erfasst wird. Zunächst war diese Variante aufgrund der teuren Gerätetechnik selten. Mittlerweile ist es auch für Privatpersonen möglich, mit preiswerten 3-D-Scannern die 3-D-Digitalisierung selbst durchzuführen. Des Weiteren gibt es noch die Möglichkeit, über Tauschplattformen im Internet 3-D-Daten für die additive Fertigung per freiem Download zu erhalten.

Urheberrechtlicher Schutz

Werden 3-D-Daten durch 3-D-Digitalisierung (Reverse Engineering) realer Vorlagen am Computer selbst erstellt, sind – sofern das Original Werkcharak-

ter gemäß § 2 UrhG besitzt – die Urheber- und Nutzungsrechte, insbesondere die Vervielfältigungs- und Bearbeitungsrechte des Rechteinhabers des Originals zu berücksichtigen. Vervielfältigung ist jede körperliche Fixierung eines Werks. Auch die Digitalisierung eines urheberrechtlich geschützten Werks, also die Überführung eines Werks in eine andere Dimension, ist eine Vervielfältigung i.S.d. § 16 UrhG. Insofern liegt zumindest bei der 3-D-Digitalisierung eines urheberrechtlich geschützten Werks eine urheberrechtlich relevante Handlung vor, die dem Ausschließlichkeitsrecht (§ 15 UrhG) des Rechteinhabers unterworfen ist. Das bedeutet vor allem zweierlei:

- Der Rechteinhaber allein darf urheberrechtlich geschützte Werke digitalisieren (positives Nutzungsrecht)
- Der Rechteinhaber darf im Umkehrschluss Dritten eben jene Vervielfältigungshandlung verbieten (negatives Verbotsrecht), sofern diese ohne Erlaubnis des Rechteinhabers vollzogen wird.

Zu fragen ist, ob hinsichtlich des privaten Gebrauchs solcher 3-D-Daten die Schrankenbestimmung des § 53 UrhG zum Tragen kommen könnte. Danach können urheberrechtlich geschützte Werke zustimmungsfrei zum privaten Gebrauch, das heißt zum Gebrauch in der Privatsphäre zur Befriedigung rein persönlicher Bedürfnisse durch die eigene Person, vervielfältigt werden, sofern nicht eine offensichtlich rechtswidrig hergestellte oder öffentlich zugänglich gemachte Kopiervorlage verwendet wird. Mit dieser Einschränkung greift für alle illegal im Internet angebotenen 3-D-Daten, z. B. über illegales Filesharing zu erhalten, nicht die günstige Schranke des § 53 UrhG. Anders sieht es aus, wenn die 3-D-Daten an einen externen Dienstleister versandt werden, verbunden mit dem Auftrag, diese als Fertigungsunterlage für ein Werkstück zu verwenden.

Andere Probleme ergeben sich, wenn die 3-D-Daten unter Vorlage eines Originals in Eigenregie erstellt werden. Möglicherweise handelt es sich sodann nicht mehr in jedem Fall um eine Vervielfältigungshandlung nach § 16 UrhG, sondern es könnte auch eine ebenfalls einwilligungspflichtige Bearbeitungshandlung gemäß § 23 UrhG oder gar eine freie Benutzung gemäß § 24 UrhG vorliegen. Beides ist voneinander abzugrenzen. Während bei der freien Benutzung das Original lediglich als Anregung zum eigenen Werk schaffen genutzt wird, zeichnet sich die Bearbeitung dadurch aus, dass trotz Veränderungen am Werk kein eigenes, neues Werk geschaffen wird. Nach der gängigen Formel von Ulmer soll eine freie Benutzung dann vorliegen, wenn wesentliche Züge des alten geschützten Werks aufgrund der Eigenart des neuen Werks verblassen. Wann dies der Fall ist, ist freilich am Einzelfall zu entscheiden und hängt nicht zuletzt

vom Grad der Individualität der entlehnten Züge ab. Grundsätzlich legt die Rechtsprechung hier jedoch strenge Maßstäbe an.

Patentrechtliche Einordnung

Der urheberrechtliche Teil hat sich mit der Frage des Schutzes vorhandener 3-D-Daten befasst. Dabei geht es im Wesentlichen um ästhetisch bedeutsame Werke, wie z.B. Skulpturen. Im patentrechtlichen Teil geht es hingegen um die Frage, ob für neue technische Produkte, die von vornherein für das additive Fertigungsverfahren entwickelt werden, Schutz erlangt werden kann und wann dieser Schutz eingreift.

Bei additiven Fertigungsverfahren sind die wesentlichen Produktelemente in einer digitalen Datei niedergelegt. Diese 3-D-Daten können rechtstechnisch in zwei Bereiche unterteilt werden. Zum einen enthalten die 3-D-Daten eine digital aufbereitete Darstellung des einzelnen zu produzierenden Werkstücks, zum anderen ein Herstellungsverfahren, mit dem die Produktion im Wege der additiven Fertigung ermöglicht wird. Soweit diese Einteilung auch rechtlich relevant wäre – das ist bislang nicht geklärt – stünde die Frage an, ob das neue Produkt schon in der digital aufbereiteten Lehre, deren Anwendung zum Produkt führt, geschützt ist. In Betracht käme der Schutz durch das Verbot der mittelbaren Patentverletzung.

Ob die ebenfalls durch das Patentrecht geschützte mittelbare Patentverletzung schon dann vorliegt, wenn zwar nicht Teile des Produkts, aber die digitalen Daten, die zum Produkt führen, übernommen werden, war bislang umstritten. Nach der sich durchsetzenden Ansicht in Rechtsprechung und Literatur ist für die mittelbare Patentverletzung nicht mehr ein Nachbau von Teilen des Endprodukts erforderlich. Ausreichend für eine Verletzung des Patents ist schon die Übernahme der Konstruktionsmerkmale, also gegenständlich das Kopieren der digitalen Datei.

Hinsichtlich der Elemente, die die additive Fertigungsanlage antreiben, würde es sich um ein Computerprogramm handeln, dessen Algorithmen zu einem Verfahrenspatent führen könnten. Hier wird das Problem dadurch gelöst werden können, dass die Software selbst dem Schutz unterfällt und nicht erst das Endprodukt, das durch die Software produziert werden kann.

Eine derartige Differenzierung in digital aufbereitete Produktdaten einerseits und einem Programm für die Verfahrens- bzw. Fertigungsabläufe andererseits ist jedoch nicht zwingend, weil das Produkt gerade im Hinblick auf die additiven Fertigungsverfahren entwickelt wird. Regelmäßig oder zumindest häufig stehen

viele Konstruktionsüberlegungen im unmittelbaren oder zumindest engen Zusammenhang zu den Fertigungsalgorithmen. Soweit jedenfalls für ein Erzeugnis Schutz beansprucht wird, das nur programmtechnisch begleitet herstellbar ist, könnten Patentämter und Rechtsprechung von einem Programmschutz ausgehen.

In der juristischen Literatur sowie Rechtsprechung und in den Richtlinien der Patentämter [8] wird hierbei von „programmbezogenen Erfindungen“ gesprochen. Rechtstechnisch findet dies zumeist seinen Ausdruck darin, dass ein auf ein „Computerprogrammprodukt“ bezogener Anspruch geltend gemacht wird. Fertigungsverfahren und das zu fertigende Produkt bilden eine Einheit. Der Schutzbereich erfasst jeweils das Neue und Erfindersische in dem Produkt und in den Elementen für die Fertigung des Produkts.

Programmbezogene Erfindungen mit technischen Inhalten sind nach dem deutschen, dem europäischen Patentrecht und grundsätzlich weltweit geschützt. Der patentrechtliche Schutz ist bedeutsam, auch deshalb, weil er für technische Produkte eine ganz andere Dimension als das Urheberrecht hat. Wenn der patentrechtliche Schutz greift, so umfasst er die für die Produkterstellung ganz wesentlichen technischen Merkmale; der urheberrechtliche Schutz dagegen würde z. B. bei dem Programm nicht die Algorithmen erreichen, sondern – wie die Rechtsprechung es formuliert – nur die Art und Weise der Sammlung und Zusammenstellung der Programmelemente. Anders gewendet:

Das Urheberrecht schützt nicht die Inhalte technischer Leistungen.

Die patentrechtliche Schutzgewährung hat hier aber Besonderheiten. Das Patentrecht bestimmt ausdrücklich, dass Computerprogramme „als solche“ nicht schutzbar sind [9].

Durch diese „als-solche“-Formel soll gewährleistet werden, dass nur technische Neuerungen Schutz erhalten und nicht neue mathematische bzw. softwaretechnische Weiterentwicklungen ohne Anbindung an konkrete bzw. konkret benannte technische Wirkweisen. In der Praxis wird diese Formel dafür eingesetzt, den Schutzbereich auf die in der Anmeldung beschriebene Wirkweise, z. B. auf die Herstellung bestimmter Produkte zu beschränken, um unerwünschte Monopolstellungen zu vermeiden [10; 11]. Für die programmbezogenen Erfindungen führt dies dazu, dass der Schutzbereich des für die Fertigung entwickelten Programms auf die Herstellung der benannten Produkte beschränkt bleibt. Es würde demnach, hinsichtlich der Schutzbereiche keinen Unterschied machen,

ob die Algorithmen zur Steuerung der Fertigungsmaschine isoliert als Verfahrenspatent angemeldet werden würden oder aber zusammen mit dem Produkt.

Es ist in jedem Fall darauf zu achten, dass hinsichtlich der angemeldeten Algorithmen des Fertigungsverfahrens möglichst umfangreich deren technische Wirkweisen benannt werden. Abstrakte, also von konkreten Wirkweisen gelöste, Beschreibungen der neuen Algorithmen führen zur Bewertung, dass hier zumindest in Teilen ein Programm „als solches“ angemeldet wird und deshalb der Schutz entsprechend einzuschränken ist.

Von Bedeutung ist für die gegenständliche Technik auch die Schutzeingrenzung für den privaten Bereich. Das Patentrecht schützt nicht die Verwendung außerhalb gewerblicher Betätigung.

Im Übrigen gelten die allgemeinen Schutzvoraussetzungen wie Neuheit (es gilt der absolute Neuheitsbegriff) und dass die Anmeldung für den Fachmann nicht naheliegend sein darf (Umschreibung der erforderlichen Erfindungshöhe).

6.2 Haftungsrechtliche Fragen

Bei Produkten, die im Wege der additiven Fertigungsverfahren entstehen, wird es neue haftungsrechtliche Aspekte geben.

Die additiven Fertigungsverfahren bringen im Wesentlichen – zumindest für die juristische Betrachtung – zwei Neuerungen mit sich:

- Unabdingbare Grundlage für deren Einsatz sind die 3-D-Daten, sodass sich hierin die größte Leistung innerhalb der Produktionskette realisiert.
- Die Nutzung dieses Verfahrens findet auch im Privatbereich statt.

Beides birgt neue haftungsrechtliche Fragen im Bereich der deliktischen Produzentenhaftung gemäß § 823 des Bürgerlichen Gesetzbuches (BGB) sowie des Produkthaftungsgesetzes.

Die Produkt- wie auch die Produzentenhaftung beruht auf der grundsätzlichen Annahme, dass derjenige, der Hersteller eines Produkts ist, dafür einzustehen hat (wenn auch in Grenzen des Zumutbaren und Möglichen), wenn dieses Produkt Rechtsgüter anderer beschädigt.

Beide Haftungsgesetze werden danach unterschieden, dass die im BGB enthaltene Produzentenhaftung verhaltensbezogen ist, also auf einen Fehler im Unternehmen abstellt, der dann für die Begründung der Rechts-

widrigkeit herangezogen wird, während das durch Europäisches Recht 1990 eingeführte Produkthaftungsgesetz nicht auf die fehlerhafte Handlung, sondern auf das Ergebnis abstellt, also den Produktfehler.

Die Haftung nach dem Produkthaftungsgesetz sollte eine striktere Haftung sein und wurde deshalb auch nur als Schutzrecht für den Letztverbraucher, den privaten Konsumenten geschaffen. Dieser schärferen Haftung kommt aber gerade im Zusammenhang mit neuen Technologien keine große Bedeutung zu. Bevor wegen eines Produktfehlers gehaftet wird, muss erst einmal bestimmt werden, was als Fehler angesehen werden soll.

Hier helfen die von Rechtsprechung und Rechtswissenschaft zur Produzentenhaftung (sogenannte deliktische Haftung nach dem BGB) entwickelten Grundsätze. Rechtsprechung und Literatur teilen die den Unternehmen zu Vermeidung von Schädigungen auferlegten Pflichten in verschiedene Bereiche. Die bedeutendsten Pflichtenbereiche beziehen sich auf die Phasen „Konstruktion“ und „Fabrikation“. Im Ergebnis bestehen deshalb in der Praxis zwischen der Produzentenhaftung und der Haftung nach dem Produkthaftungsgesetz häufig keine Unterschiede.

Verantwortung für Software

Genau wie im Zusammenhang mit der Fertigung herkömmlicher Produkte auch, ist bei den additiven Fertigungsverfahren im Falle der Schädigung Dritter zu fragen, ob ordnungsgemäß konstruiert und produziert wurde.

Die Besonderheit liegt hier darin, dass Konstruktions- und auch Fabrikationselemente in Software niedergelegt sind. Die Eigenarten, die konkreten Merkmale des Produkts, sind dort enthalten, also die Konstruktions- und Fabrikationselemente wie auch die Fertigungsanweisungen an die additive Fertigungsanlage. Konstruktion und Fabrikation sind umfangreich virtuell.

Als sicher kann angenommen werden, dass aus dem Umstand, dass diese Elemente als Computerprogramm erscheinen, keinerlei Haftungsprivilegien hergeleitet werden können.

Der ursprünglich einmal auch – in Grenzen – von der Rechtsprechung anerkannte Satz, dass es keine völlig fehlerfreie Software gibt, hat sich zu keiner Zeit auf Algorithmen bezogen, die Maschinen steuern oder mathematische Berechnungen durchführen, die für die Beschaffenheit von Produkten von Bedeutung sind.

Verantwortung bei arbeitsteiliger Produktion

Bei den additiven Fertigungsverfahren werden die haftungsrechtlichen Besonderheiten der arbeitsteiligen Produktion im besonderen Maße sichtbar, weil die 3-D-Daten eine entscheidende Bedeutung für die nachher eventuell durch ein von Dritten betriebene additive Fertigungsanlage, also die maschinelle Endfertigung, haben.

Es stellt sich unter anderem die Frage, inwieweit derjenige, der die 3-D-Daten erstellt hat, für die Fehlerfreiheit aller darin enthaltenen Konstruktions- und Fertigungselemente haftet und wie weit diese Haftung reicht.

Im Hinblick auf die industrielle Fertigung wird es sowohl bei den Produzenten – wie auch bei der Produkthaftung – dabei verbleiben, dass der Endhersteller/Assembler zunächst einmal mit Blick auf die Konstruktionsverantwortung für das entstandene Produkt haftet. Dabei ist es ganz gleich, ob die Erstellung der 3-D-Daten in-house veranlasst wurde oder ob diese Erstellung ausgelagert wurde und sich sodann im Innenverhältnis bei fehlerhafter Konstruktion Haftungsansprüche ergeben.

Werden die 3-D-Daten von einem Dritten, also extern bezogen, liegt ein Fall der arbeitsteiligen Produktion vor. Dass hier ein Teil der Arbeit nicht die Lieferung eines körperlichen Gegenstands/Produkts ist, sondern sich vielmehr als digitale Zuarbeit darstellt, macht keinen Unterschied.

Unterschiede gibt es aber je nachdem, ob für den privaten Endverbraucher oder für gewerblich Tätige geliefert wurde. Während im Rahmen der deliktischen Produzentenhaftung (gewerblicher Bereich) der Assembler nach ordnungsgemäßer Auswahl der Zulieferer darauf vertrauen darf, dass diese die gebotenen Sorgfaltspflichten einhalten, haftet der Endhersteller im Rahmen des ProdHaftG gegenüber dem nicht gewerblich tätigen Letztverbraucher umfassend für die Fehler des von ihm in den Verkehr gebrachten Endprodukts, und zwar unabhängig von einer vorliegenden arbeitsteiligen Produktion. Allerdings kann der Assembler den Zulieferer in Regress nehmen.

Wer ist Hersteller?

Noch gänzlich ungeklärt ist die Frage nach einer Haftungsprivilegierung auf der Grundlage des § 4 ProdHaftG. Untersucht werden muss, ob derjenige, der mittels einer fremden 3-D-Daten im Wege der additiven Fertigungsverfahren, also völlig ohne ei-

gene Leistung, wie sie der klassisch arbeitende Assembler erledigt, indem er zumindest die gelieferten Teile zusammenbaut, noch Hersteller i.S.d. § 4 ProdHaftG ist? Diese Frage wird besonders wichtig, wenn man die oben dargestellte zweite Besonderheit der additiven Fertigungsverfahren betrachtet, nämlich dass der private Konsument zum Produzenten wird. Wäre dann der private Konsument Hersteller i.S.d. § 4 ProdHaftG? Nach § 4 ProdHaftG ist derjenige Hersteller eines Produkts, „der das Endprodukt, einen Grundstoff oder ein Teilprodukt hergestellt hat“. Daran kann man zweifeln. Schon dem Wortlaut nach hängt der Herstellerbegriff eng mit dem Produktbegriff nach § 2 ProdHaftG zusammen.

Daraus ließe sich folgern, dass Hersteller nur derjenige sein kann, der in Bezug auf das Produkt eine relevante oder eigenverantwortliche Tätigkeit aufweist, die bei dem Benutzen einer fremdgeschaffenen Maschine (der additiven Fertigungsanlage) in Verbindung mit fremdgeschaffener Konstruktions- und Fabrikationssoftware (den 3-D-Daten) schwerlich zu begründen ist.

Ähnliche Schwierigkeiten gibt es bereits bei der Abgrenzung der Herstellung zu den reinen Montagetätigkeiten.

Ab wann noch eine reine Montagetätigkeit vorliegt bzw. ab wann schon von einem Herstellen zu sprechen ist, ist letztlich vom Einzelfall abhängig, wobei

über ein geeignetes Abgrenzungskriterium unterschiedliche Auffassungen vertreten werden. Tendenziell wird man jedoch bei den additiven Fertigungsverfahren, bei denen die Fertigung rein maschinell, also ohne weiteres eigenes (vor allem konstruktives) Zutun, zumindest dann von einer reinen Montagetätigkeit ausgehen müssen, wenn die abschließende Fertigung, analog zu der bereits bekannten Montage, vollständig nach den Vorgaben des Herstellers der 3-D-Daten herbeigeführt wird. Ein Verbraucher oder Benutzer und auch Händler wird nicht schon dadurch zum Hersteller, nur weil er das Produkt nach den Vorgaben zusammenbaut und somit die erstmalige Gebrauchsfähigkeit des Produkts herstellt. Die Verantwortung liegt dann regelmäßig beim Konstrukteur, da dieser die 3-D-Daten erstellt hat, die letztlich die Anweisungen für die additive Fertigungsanlage enthalten.

Dass die in Software vorhandenen Konstruktions- und Fabrikationselemente selbst Produkte sind, unterliegt keinem Zweifel. Verwertbare virtuelle Arbeitsergebnisse sind zumindest dann Produkte (auch) im Sinne des Haftungsrechts, wenn sie Hardwareelemente ersetzen bzw. Funktionen ausführen, die vormals durch Hardware erledigt wurden. Die Konstruktionselemente sind nicht auszuschließen, weil sie notwendigerweise in den 3-D-Daten enthalten sind.

7 Bedeutung für den Wirtschaftsstandort Deutschland

7.1 Individualisierung von Produkten

In vielen Branchen ist ein Trend zu immer individualeren Produkten zu beobachten.

Betrachten wir die Automobilbranche. Während ein Hersteller in den 1970er-Jahren jeweils eine Karosserievariante für die Kompakt-, Mittel- und Oberklasse anbot, gibt es heute in jeder Fahrzeugklasse diverse Varianten. Selbst bei einem Fahrzeugmodell gibt es mit 2-Türer-, 4-Türer-, Kombi-, Stufenheck- und Van-Varianten eine Vielzahl von Differenzierungsmöglichkeiten.

Ein anderes Beispiel ist die Computerbranche. Auch hier gibt es für jeden Anwendungsfall spezialisierte Geräte, und die Grenzen zwischen den Geräteklassen verschwimmen. Vom Handy über das Smartphone,

dem Tablet, dem Notebook zum PC, vom Computermonitor bis zum Smart-TV gibt es die unterschiedlichsten Zwischenstufen und Sonderbauformen für spezielle Anwendungsfälle.

Mit der Individualisierung geht einher, dass die Anzahl der identisch produzierten Produkte sinkt. Mit der klassischen Fließbandfertigung, bei der identische Produkte zu Tausenden das Werk verlassen, sind individualisierte Produkte nicht möglich.

In der Industrie gibt es viele Konzepte, durch flexible und modularisierte Fertigung individualisierte Produkte mit einem hohen Automatisierungsgrad zu fertigen. Die industrielle Fertigung ab Stückzahl 1 ist ein wichtiger Aspekt des Zukunftsprojekts Industrie 4.0 [12]. Die additiven Fertigungsverfahren sind sicherlich nicht die einzige Möglichkeit, individualisierte

Produkte zu ermöglichen, doch ergänzen sie bestehende Möglichkeiten als eine wichtige Option.

Die Individualisierung der Produkte ist einer der Gründe dafür, warum Industrie 4.0 ins Leben gerufen wurde. Die additiven Fertigungsverfahren helfen, die Individualisierung flexibler zu gestalten.

Ein Beispiel: Wenn ein Kunststoffteil sowohl additiv als auch durch Spritzguss herstellbar ist, gibt es unter anderen die folgenden fertigungstechnischen Optionen:

- Stückzahl 1 bis ca. 1.000 pro Jahr: Die additiven Fertigungsverfahren sind typischerweise die wirtschaftlichste Option.
- Stückzahl 1.000 bis 100.000 pro Jahr: Die Herstellung einer Spritzgussform aus Metall durch additive Verfahren sollte als eine Variante bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt werden.
- Stückzahl größer 100.000 pro Jahr: Eine besonders langlebige, aus Vollmaterial klassisch gefertigte Spritzgussform ist voraussichtlich am sinnvollsten.

7.2 Additive Fertigungsverfahren fördern den Wirtschaftsstandort Deutschland und sichern Arbeitsplätze

„Hier in Europa werden kleine und mittlere Losgrößen produziert. Die Massenproduktion findet in Asien statt.“

Diese Aussage ist einem Mitautor dieses Papiers von einem Beratungsgespräch mit einem Verkäufer für Bestückungsautomaten von Elektronikplatinen im Gedächtnis geblieben. Es war die Antwort auf die Frage, warum der Verkaufsraum keine Anlagen jenseits einer bestimmten Größe zeigt. Auch wenn eine auf zwei Sätze komprimierte Analyse von wirtschaftlichen Zusammenhängen zwangsläufig zu grob und durch Gegenbeispiele widerlegbar ist, so fasst sie doch einen Trend richtig zusammen. Produkte werden typischerweise in Hochlohnländern von qualifiziertem Personal gefertigt, wenn möglichst niedrige Stückkosten in der Massenproduktion nicht der entscheidende Faktor bei der Auswahl des Produktionsstandorts sind.

Die additiven Fertigungsverfahren helfen dabei, Kleinserien mit hohen Qualitätsansprüchen zu realisieren, das Know-how im eigenen Betrieb zu halten, die iterative Produktentwicklung zu beschleunigen

und dabei das Feedback der Kunden zu berücksichtigen. Das sind die Randbedingungen, unter denen hierzulande viele Unternehmen produzieren. Damit fördern die additiven Fertigungsverfahren die Wettbewerbsfähigkeit branchenübergreifend und sichern damit Arbeitsplätze.

Nicht zu vergessen ist, dass sich rund um die additiven Fertigungsverfahren ein eigenständiger Wirtschaftszweig entwickelt hat. Namhafte Herstellerfirmen für additiven Fertigungsanlagen haben ihren Sitz in Deutschland, Auftragsdienstleister haben sich auf die additiven Fertigungsverfahren spezialisiert und in den Innenstädten bieten Dienstleister additiv gefertigte 3-D-Modelle von fast allem an, was durch die Ladentüre passt [13].

7.3 Ressourcenschonung und Verkürzung der Transportwege

Die Späne, die beim Drehen, Fräsen und Bohren entstehen, sind mit Kühlschmierstoffen verschmutzt und müssen gereinigt werden, bevor sie als Altmetall wieder verkauft werden können. Das nicht verwendete Pulver ist beim Laser-Sintern teilweise und beim Laser-Strahlschmelzen größtenteils nach einer entsprechenden Aufbereitung wiederverwendbar. Bei den Extrusionsverfahren kommt – abgesehen von möglichen Stützstrukturen – ohnehin nur Material zum Einsatz, das direkt für das Produkt gebraucht wird.

Mit additiven Fertigungsverfahren lassen sich Leichtbaukonzepte umsetzen, die anders praktisch nicht realisierbar sind. Hohlräume, Gitterstrukturen und biologisch optimierte Verästelungen lassen sich problemlos realisieren. Nicht nur, dass weniger Rohstoffe für das Bauteil selber verbraucht werden: Wenn das Bauteil in Autos oder Flugzeugen eingesetzt wird, spart es durch seine geringere Masse mit jedem zurückgelegten Kilometer Energie. Ein anschauliches Beispiel für die Leistungsfähigkeit der additiven Fertigungsverfahren im Zusammenspiel mit anderen fortschrittlichen Fertigungstechniken zeigt Bild 15. Mit dem nur 175 Gramm schweren Flugobjekt werden die Flugeigenschaften einer Libelle technisch umgesetzt.

Mit additiven Fertigungsverfahren können Produkte dezentral dort hergestellt werden, wo sie gebraucht werden. Damit wird das Frachtaufkommen gesenkt.

7.4 Neue Geschäftsmodelle

Mit den additiven Fertigungsverfahren sind neue Geschäftsmodelle realisierbar:



Bild 15. Die additiven Fertigungsverfahren sind für den bionisch optimierten Leichtbau besonders geeignet. (Quelle: Festo)

Production on Demand

Mit additiven Fertigungsverfahren können Bauteile erst hergestellt werden, wenn sie auch gebraucht werden. Das verringert Lagerkosten und verhindert oben-
drein, dass Überproduktionen Ressourcen verbrauchen und entsorgt werden müssen.

Production on Site

Bauteile können in der Nähe des Einsatzorts hergestellt werden. Damit entfallen Transportkosten und -zeiten. Dienstleistungen können damit wettbewerbsfähiger angeboten werden.

Produkte ohne eigenen Maschinenpark: optimal für Start-ups

Es gibt bereits zahlreiche Unternehmen, die die Fertigung mit additiven Verfahren als Dienstleistung anbieten. Die digitalen Konstruktionsdaten werden über das Internet ausgetauscht. Das ermöglicht es jungen Unternehmen, Bauteile mit speziellen Geometrien zu realisieren und Produkte mit professionellem Design ohne einen eigenen Maschinenpark auszuliefern. Das in Bild 16 gezeigte Bauteil ist ein Mischer für Flüssigkeiten, der auch zum Homogenisieren und Wärme tauschen eingesetzt werden kann.



Bild 16. Die Herstellung von geometrisch hoch komplexen Bauteilen mit additiven Fertigungsverfahren wird als Dienstleistung angeboten. (Quelle: Gregor Jell Werkzeugelemente)

8 Internationale Aktivitäten

8.1 Öffentliche Förderung

Staaten, die Jahrzehnte lang den Dienstleistungssektor als entscheidend für ein hoch entwickeltes Land angesehen haben, besinnen sich auf die Bedeutung eigener Fertigungskapazitäten für die Sicherung des Wohls zurück. Sie haben die additiven Fertigungsverfahren als einen zentralen Baustein für die Re-Industrialisierung erkannt und stellen große Fördersummen für ihre nationalen Industrien bereit. So gibt es in Großbritannien 8,4 Millionen britische Pfund an öffentlicher Förderung für Projekte im Bereich der additiven Fertigungsverfahren. Die Unternehmen Renishaw, JRI Orthopaedics und FDM Digital Soluti-

ons werden mit Projekten im Bereich der Medizintechnik in einer Veröffentlichung von 2013 als Industriepartner des Förderprogramms genannt [14].

Der Präsident der Vereinigten Staaten, Barack Obama, hat die additiven Fertigungsverfahren zur Chefsache erklärt und im Februar 2014 die Gründung eines zweiten nationalen Forschungslabors bekannt gegeben. Die staatliche Anschubfinanzierung dafür beträgt 70 Millionen US-Dollar [15].

Auch die Europäische Kommission hat die Bedeutung der additiven Fertigungsverfahren erkannt und schätzt sie als wichtige Säule der Industrial Landscape Vision (ILV) 2025 ein. Im neuen Forschungsprogramm Horizont 2020 [16] wurden in verschiedenen Calls bereits

für die additiven Fertigungsverfahren relevante Themen ausgeschrieben. Als Ergebnis von mehreren Workshops im Juni 2014 in Brüssel werden auch in den nächsten Jahren Themen rund um die additiven Fertigungsverfahren verstärkt in Ausschreibungen ihren Niederschlag finden.

Doch nicht nur Nationen mit einer langen industriellen Tradition entdecken die additiven Fertigungsverfahren für sich. Die chinesische Regierung investiert 245 Millionen US-Dollar, um das Reich der Mitte an die Spitze der Anbieter additiver Technik zu bringen. Studien gehen davon aus, dass in China in den nächsten Jahren ein Umsatz von 1,6 Milliarden US-Dollar mit additiver Technik generiert wird. Auch Singapur investiert 500 Millionen US-Dollar in fortschrittliche Fertigungsverfahren, zu denen auch der 3-D-Druck, hier als Sammelbegriff für die additiven Fertigungsverfahren zu verstehen, gezählt wird [17].

8.2 Die Marktstellung der deutschen Unternehmen im internationalen Vergleich

Die auf die Pulverbettverfahren Laser-Strahlschmelzen und Laser-Sintern spezialisierten Anlagenhersteller aus Deutschland wie EOS, Concept Laser und SLM Solutions [18,19,20] sind bei der Verarbeitung von metallischen Werkstoffen international führend. Additiv gefertigte Bauteile aus Metall sind für industrielle Anwendungen besonders gut geeignet. Es ist derzeit offen, ob diese mittelständischen Unternehmen, die als Neugründungen mit der technischen Entwicklung gewachsen sind, ihren Know-how-Vorsprung aus eigener Kraft verteidigen können. Angesichts großer Etats der staatlichen Förderprogramme weltweit ist das auf jeden Fall eine ernstzunehmende Herausforderung.

Laser-Strahlschmelzen und Laser-Sintern sind aber nicht die einzigen Technologien, auf die Unternehmen hierzulande setzen. Die Firma voxeljet [21] ist einer der Marktführer für den 3-D-Druck im industriellen Umfeld. Mit dem ersten kontinuierlich arbeitenden 3-D-Drucker weltweit, den großen Bauräumen (Bild 17) und den hohen Baugeschwindigkeiten sieht sich das Unternehmen international als Technologieführer.

Mit oder ohne Förderung, in den Markt kommt Bewegung. Auch Unternehmen wie TRUMPF [22], ARBURG [23] und DMG MORI [5], die hinsichtlich der

additiven Fertigungsverfahren bisher eher eine Beobachterrolle eingenommen haben, werden nun aktiv.

Die Extrusionsverfahren FLM/FDM werden, was den professionellen Einsatz angeht, von Unternehmen wie Stratasys [24] aus den USA dominiert. Die unzähligen Unternehmen aus aller Welt, die derzeit 3-D-Drucker für den Heimamwender anbieten, runden das Angebot nach unten ab.

Mit dem Auslaufen wichtiger Patente einerseits und dem industriellen Anforderungen genügenden Qualitätsstandard andererseits intensiviert sich der Wettlauf um einen Vorsprung bei additiven Fertigungsverfahren weltweit. Das kommt nicht überraschend, denn die Technologie ist nicht nur losgelöst als Branche ein Wirtschaftsfaktor, sondern ist auch für die gesamte Volkswirtschaft relevant: Damit können branchenübergreifend neue Produkte schneller und besser sowohl entwickelt als auch hergestellt werden.



Bild 17. Mit additiven Fertigungsverfahren können auch große Objekte realisiert werden. Hier im Bild eine Design-Säule von Sam Welham & Richard Beckett. (Quelle: voxeljet)

9 Aktivitäten des VDI



Bild 18. Gruppenfoto des FA 105 „Additive Manufacturing“ bei einer Sitzung 2013. (Quelle: VDI)

9.1 VDI-Fachausschuss „Additive Manufacturing“

Die Aktivitäten des VDI werden im Fachausschuss „Additive Manufacturing“ [25] der VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (GPL) [26] gebündelt und koordiniert. Derzeit engagieren sich 85 ehrenamtliche Mitglieder, die teilweise parallel in mehreren Unterausschüssen aktiv sind (Bild 18). Mit Experten der Hersteller additiver Fertigungsanlagen, industriellen Anwendern dieser Technik sowie Vertretern von Dienstleistern, Universitäten und Forschungseinrichtungen werden die additiven Fertigungsverfahren aus allen Blickwinkeln beleuchtet. Der Stand der Technik wird umfassend und unabhängig erfasst. Damit ist der Fachausschuss das zentrale Gremium in Deutschland für die additiven Fertigungsverfahren.

Der Fachausschuss hat sich zur Aufgabe gesetzt, Fortschritte und Erfahrungen zu ausgewählten Themenbereichen des Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing auszutauschen und gewonnene Erkenntnisse durch Tagungen und VDI-Richtlinien einer breiten Fachöffentlichkeit zu vermitteln. Ziel der Ausschussarbeit ist es, das Leistungspotenzial der verschiedenen additiven Verfahren darzustellen und Arbeitsunterlagen sowie Handlungsempfehlungen in Richtlinien bereit zu stellen, um die Kommunikation zwischen Auftraggeber (Nutzer) und Anwender (Dienstleister) zu optimieren und zielgerichtet die Anwendung/Nutzung der Verfahren zu verbessern. Neben Begriffsbestimmungen und einer praxisorientierten Darstellung der Chancen und Grenzen einzelner Prozesse sollen insbesondere Empfehlungen zum Datenfluss, zu Liefervereinbarungen, Prüfkörpern und Abnahmebedingungen erarbeitet werden.

Der Fachausschuss „Additive Manufacturing“ koordiniert die Arbeiten in den Unterausschüssen und betreut die Richtlinie VDI 3404 „Additive Fertigung; Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibungen“, die in endgültiger Fassung als VDI 3405 erscheinen wird. Die Richtlinie von 2009 wurde aktualisiert und

im Mai 2014 als Entwurf veröffentlicht. Das Gremium bildet die Schnittstelle zu anderen Organisationen und zur Fachöffentlichkeit. Mitglieder des Fachausschusses engagieren sich bei der VDI-Konferenz „Additive Manufacturing“, die im September 2014 zum zweiten Mal stattfindet.

Der Unterausschuss „Additive Manufacturing – Kunststoffe“ stellt die Leistungsfähigkeit der additiven Fertigungsverfahren mit Kunststoffen als Werkstoff dar. Er betreut die Richtlinie VDI 3405 Blatt 1 „Additive Fertigungsverfahren, Rapid Manufacturing; Laser-Sintern von Kunststoffbauteilen; Güteüberwachung“ und ergänzt das technische Regelwerk zum Laser-Sintern von Kunststoffbauteilen. Aktuell werden die Materialqualifikation und die Bauteilqualität sowie die Anlagenzertifizierung als neue Projekte detailliert ausgearbeitet. Auch die Erarbeitung von technischen Regeln zu den Extrusionsverfahren FLM/FDM steht auf der Agenda (Bild 19).

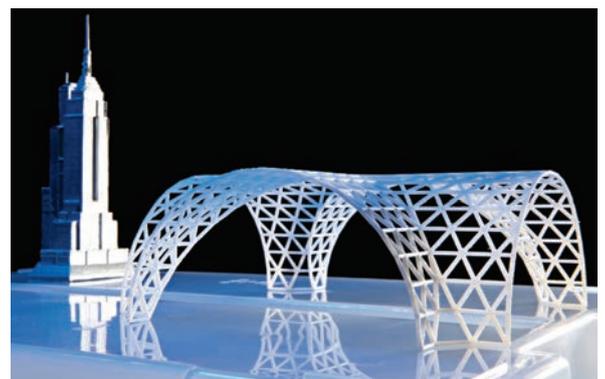


Bild 19. Neben Anwendungen im Modellbau werden Extrusionsverfahren auch immer häufiger in der industriellen Fertigung eingesetzt. (Quelle: alphacam)

Der Unterausschuss „Additive Manufacturing – Metalle“ beschäftigt sich mit den additiven Fertigungsverfahren und Metallen als Werkstoff. Die Richtlinie VDI 3405 Blatt 2 beschreibt das Laser-Strahlschmelzen metallischer Bauteile und legt den Schwerpunkt

auf die Qualifizierung, Qualitätssicherung und Nachbearbeitung (Post-Prozess). In dieser Richtlinie wurden schon wesentliche Materialkenndaten für den martensitgehärtenden Werkzeugstahl 1.2709 veröffentlicht. Diese Daten werden durch die Richtlinie VDI 3405 Blatt 2.1, die seit Juli 2014 als Entwurf vorliegt, mit Materialdaten für die Aluminiumlegierung AlSi10Mg vervollständigt. Aktuell wird vom Gremium ein Ringversuch zur Ermittlung der Materialkenndaten von Nickelbasislegierungen durchgeführt. Die Ergebnisse werden ebenfalls als Materialkenndatenblatt veröffentlicht. Das Thema Pulverwerkstoffe wird derzeit als neues Richtlinienprojekt konzipiert.

Der Unterausschuss „Additive Manufacturing – Konstruktionsempfehlungen“ trägt der Tatsache Rechnung, dass mit additiven Fertigungsverfahren Geometrien realisiert werden können, die anders nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand hergestellt werden können. Der Fachausschuss erarbeitet Empfehlungen für die Auslegung von Bauteilen, die mit additiven Fertigungsverfahren hergestellt werden sollen. Der Entwurf einer ersten Richtlinie zum Thema wird voraussichtlich Anfang 2015 veröffentlicht.

9.2 Der VDI als Netzwerker - national und international

Haupt- und ehrenamtliche Mitarbeiter des VDI stehen mit dem Deutschen Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V (DVS) [27] im regelmäßigen Austausch, um die Aktivitäten zu koordinieren und die additiven Fertigungsverfahren gemeinsam voranzubringen. Auch zu den Gremien der DGM [28] und des VDMA [29] wird der Kontakt gepflegt.

Mitglieder des Fachausschusses arbeiten auch in den Gremien von internationalen technischen Regelsetzern wie ISO und ASTM mit. Die Themen und Inhalte der zweisprachig in Deutsch und Englisch erschienenen VDI-Richtlinien gehen über DIN bei ISO und ASTM ein, werden dort diskutiert, zugeordnet und auch verändert. Die Handschrift der VDI 3404 bzw. VDI 3405 wird sich in ISO/ASTM DIS 52792, einer Terminologie-Norm, wiederfinden und ist auch das Ausgangsdokument für die Standards ISO 17296-2 bis -4, an denen aktuell noch gearbeitet wird [30]. Eine Übersicht über die internationalen Normungsaktivitäten gibt Bild 20.

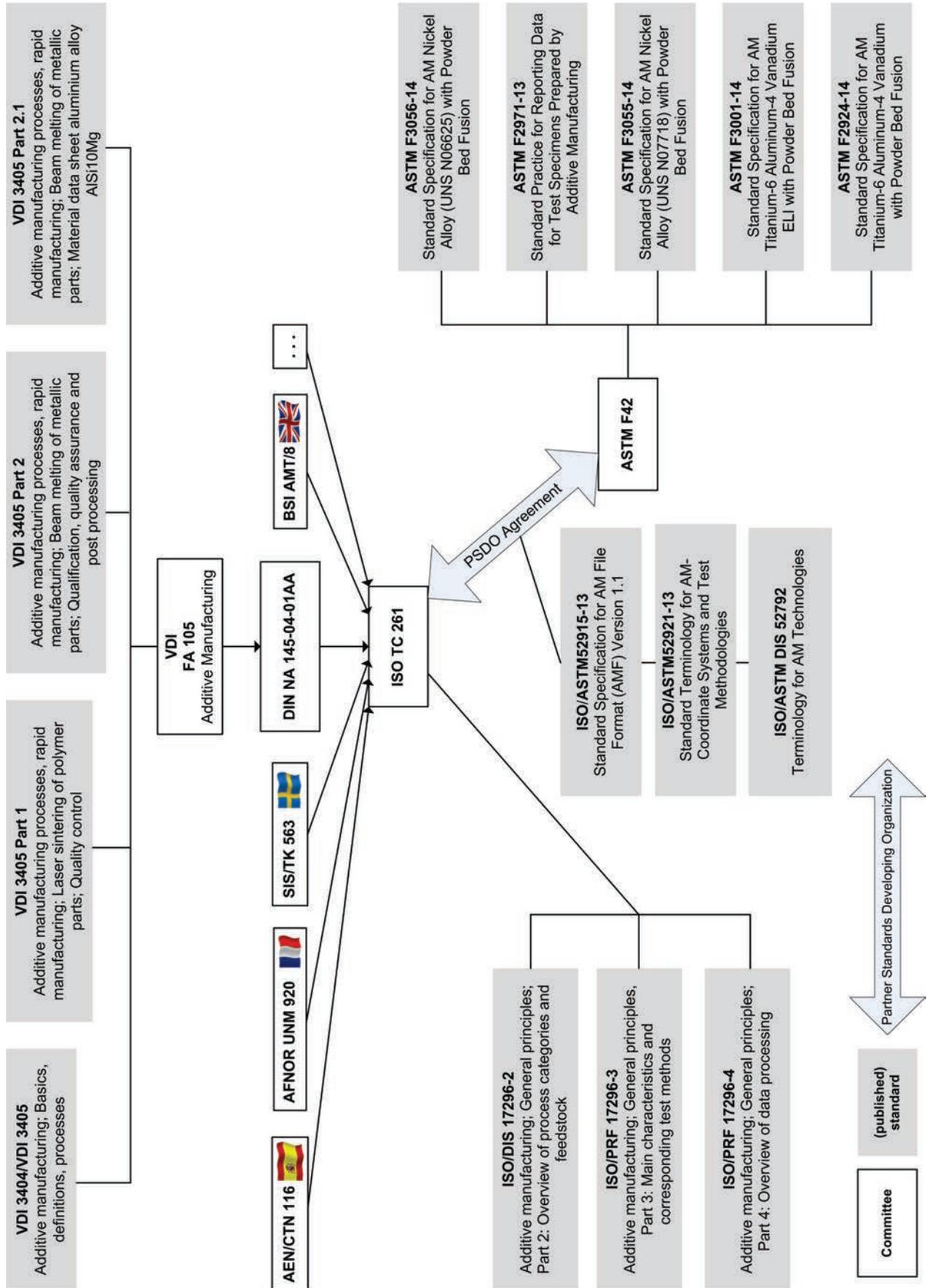


Bild 20. VDI-Richtlinien bilden die Grundlage internationaler Standards. Weiß sind die Gremien/Committees dargestellt, grau die jeweiligen Dokumente. (Quelle: Jörg Lenz, EOS)

Schrifttum

Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften

Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (Urheberrechtsgesetz – UrhG) vom 9. September 1965 (BGBl I, 1965, Nr. 51, S. 1273–1293)

Bürgerliches Gesetzbuch (BGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Januar 2002 (BGBl. I S. 42, 2909; 2003 I S. 738)

Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (Produkthaftungsgesetz – ProdHaftG) vom 15. Dezember 1989 (BGBl. I, 1989, Nr. 59, S. 2198–2200)

Technische Regeln

DVS 3215:2011-06 Laserstrahl-Auftragsschweißen. Berlin: Beuth Verlag

ISO/ASTM DIS 52792 Terminology for additive manufacturing technologies. Genf: ISO

VDI 3404:2014-05 (Entwurf) Additive Fertigung; Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibungen. Berlin: Beuth Verlag

VDI 3405 Blatt 1:2013-10 Additive Fertigungsverfahren, Rapid Manufacturing: Laser-Sintern von Kunststoffbauteilen; Güteüberwachung. Berlin: Beuth Verlag

VDI 3405 Blatt 2:2013-08 Additive Fertigungsverfahren; Strahlschmelzen metallischer Bauteile; Qualifizierung, Qualitätssicherung und Nachbearbeitung. Berlin: Beuth Verlag

VDI 3405 Blatt 2.1:2014-07 (Entwurf) Additive Fertigungsverfahren, Strahlschmelzen metallischer Bauteile; Materialkenndatenblatt Aluminiumlegierung AlSi10Mg. Berlin: Beuth Verlag

VDI 6224 Blatt 2:2012-08 Bionische Optimierung; Anwendung biologischer Wachstumsgesetze zur strukturmechanischen Optimierung technischer Bauteile. Berlin: Beuth Verlag

Literatur

- [1] <http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrinting-Articles/ArticleID/7620/Lunar-Bases-Could-be-Constructed-using-Additive-Manufacturing.aspx>, abgerufen am 01.07.2014
- [2] Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing – Analysis of Promising Industries. Paderborn: Heinz Nixdorf Institute, University of Paderborn, 2011,

https://dmrc.uni-paderborn.de/fileadmin/dmrc/Download/data/DMRC_Studien/DMRC_Study.pdf, Stand 10.01.2014

- [3] *H. Hogen*: 3-D Printing Readies for Takeoff, in Photonics Spectra, June 2014, pp 46-51, Pittsfield, MA: Laurin Publishing Co. Inc, 2014, ISSN-0731-1230
- [4] Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing – Innovation Roadmapping of Required Advancements. Paderborn: Heinz Nixdorf Institute, University of Paderborn, 2013, http://dmrc.uni-paderborn.de/fileadmin/dmrc/Download/data/DMRC_Studien/DMRC_Study_Part_3.pdf, Stand 10.01.2014
- [5] <http://de.dmgmori.com/produkte/lasertec/lasertec-additivemanufacturing/lasertec-65-additivemanufacturing>, abgerufen am 01.07.2014
- [6] *D. Dimitrov, P. Hugo*: LaserCusing: How to Make This Process a Reliable Tool for Component Manufacturing - a Lesson Learned, <http://www.rapdasa.org/docs/LaserCusing%20-%20Seminar%20AM-30%20Oct2013-DD.pdf>, abgerufen am 03.07.2014
- [7] <http://stefaniemueller.org/faBrickation/> abgerufen am 12.08.2014
- [8] Richtlinien für die Prüfung von Patentanmeldungen vom 1.3. 2004, BIPMZ, 2004, 69, Zf. 4.3.4.
- [9] *Einsele*, in: *Fitzner* u.a. (Hrsg.), Patentrechtskommentar, 4. Aufl. 2012, § 1 PatG, Rn.199 ff.
- [10] *Ensthaler*, GRUR 2013, 666, 667;
- [11] *Ensthaler*, in: Management geistigen Eigentums, 2013, S. 33.
- [12] Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, http://www.plattform-i40.de/sites/default/files/Abschlussbericht_Industrie4%200_barrierefrei.pdf, Stand 12.06.2014
- [13] Produktfyer „MINI-ME 3D Figuren“. Berlin, botspot GmbH, Stand 2014
- [14] <https://www.gov.uk/government/news/147-millionboost-for-innovative-3d-printing-projects>, Stand 30.06.2014
- [15] <http://3dprintingindustry.com/2014/03/03/president-obama-advanced-manufacturing-hubs/>, abgerufen am 30.06.2014
- [16] www.horizont2020.de, abgerufen am 04.07.2014
- [17] <http://machinedesign.com/3d-printing/chinese-look-dominate-3d-printing>; Stand 30.06.2014
- [18] www.eos.info, abgerufen am 03.07.2014
- [19] www.concept-laser.de, abgerufen am 03.07.2014
- [20] www.slm-solutions.com, abgerufen am 03.07.2014
- [21] www.voxeljet.de, abgerufen am 03.07.2014

- [22] <http://www.industrial-lasers.com/articles/2014/05/trumpf-re-enters-additive-manufacturing-arena-in-alliance-with-sisma.html>, abgerufen am 03.07.2014
- [23] <http://www.arburg.com/de/leistungsspektrum/additive-fertigung>, abgerufen am 03.07.2014
- [24] www.stratasys.com, abgerufen am 03.07.2014
- [25] www.vdi.de/gpl/fa105, abgerufen am 05.08.2014
- [26] www.vdi.de/gpl, abgerufen am 05.08.2014
- [27] <http://www.vdi.de/technik/fachthemen/produktion-und-logistik/artikel/vdi-und-dvs-bringen-die-rapid-manufacturing-community-zusammen>, Stand 11.06.2014
- [28] <http://www.additive-fertigung.org>, Stand 11.06.2014
- [29] <http://am.vdma.org>, Stand 11.06.2014
- [30] http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/home/store/catalogue_tc/home/store/catalogue_tc/home/store/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=629086&includesc=true&development=on, abgerufen am 02.07.2014

Der VDI

Sprecher, Gestalter, Netzwerker

Ingenieure brauchen eine starke Vereinigung, die sie bei ihrer Arbeit unterstützt, fördert und vertritt. Diese Aufgabe übernimmt der VDI Verein Deutscher Ingenieure. Seit über 150 Jahren steht er Ingenieurinnen und Ingenieuren zuverlässig zur Seite. Mehr als 12.000 ehrenamtliche Experten bearbeiten jedes Jahr neueste Erkenntnisse zur Förderung unseres Technikstandorts. Das überzeugt: Mit 152.000 Mitgliedern ist der VDI die größte Ingenieurvereinigung Deutschlands.

Verein Deutscher Ingenieure e.V.
Dr. Erik Marquardt
Fachbereich Produktionstechnik und Fertigungsverfahren
Tel. +49 211 6214-373
marquardt@vdi.de
www.vdi.de

Diese Broschüre finden Sie als PDF-Datei zum
kostenlosen Download unter:
www.vdi.de/statusadditiv

