

# 3D-Druck in der Heizungsindustrie

## Forschung und Entwicklung während der Anwendung

BERND GENATH

In Russland baute jetzt ein Startup-Unternehmen das vermutlich erste bewohnbare Haus aus dem 3D-Drucker. Es handelt sich um eine 38 Quadratmeter-Wohnung mit kleinem Wohnzimmer inklusive Kochnische, separatem Bad und Flur. Der 3D-Druck ist allerdings schon seit Jahren in aller Munde. Auch Unternehmen der Heizungsindustrie setzen die Technik für die Herstellung von Prototypen einzelner Komponenten ein. Mit größeren Erfolgsmeldungen halten sie sich jedoch noch zurück. Was dieses Fertigungsverfahren vermag und was es noch nicht vermag, darüber sprach die SHT unter anderem mit Prof. Dr.-Ing. Johannes Henrich Schleifenbaum von der RWTH Aachen.

Als die Viessmann-Werke im Frühjahr dieses Jahres mit Kanzlerin Angela Merkel als Ehrengast das neue Technikzentrum eröffneten, ging der Presserundgang an einem Labor vorbei, für das nur Zeit blieb, einen flüchtigen Blick durch die Glasscheibe zu werfen. „Da fertigen wir auch Teile im 3D-Druck“, hatte der Pressereferent wie nebenbei bemerkt. Ob es tatsächlich der gedrängte Tagesablauf nicht zuließ, näher an die Maschinen heranzutreten, oder ob das Unternehmen sein spezifisches Know-how in diesem Bereich vorerst für sich behalten will, sei dahingestellt. Jedenfalls machte die Zurückhaltung neugierig. Was verbirgt sich hinter dem 3D-Druck?

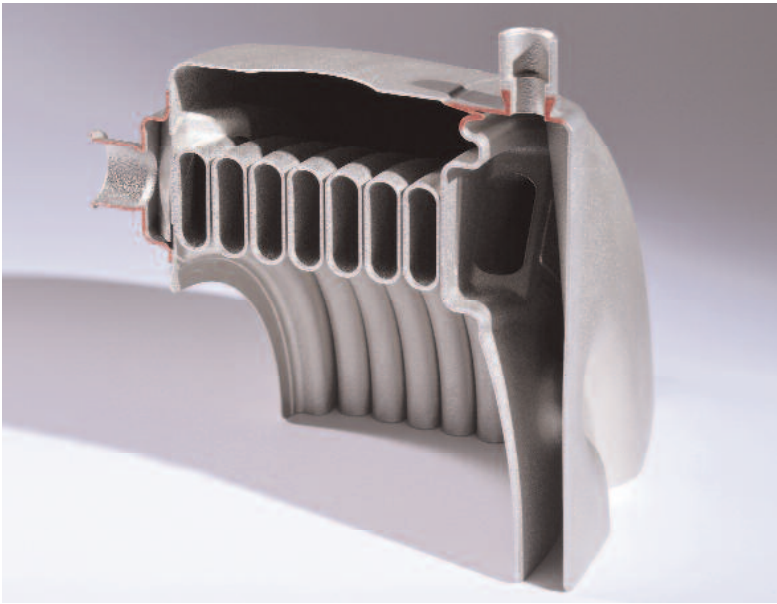
### Additiv statt subtraktiv

Zunächst: Die Bezeichnung 3D-Druck führt in die Irre. Es handelt sich nicht um Drucken oder Pressen, es handelt sich um Schmelzen und Sintern. Wieso sich die Bezeichnung 3D-Druck ein-

gebürgert hat, weiß keiner der Experten so richtig zu beantworten. „Ein Unwort“, gibt Prof. Dr.-Ing. Johannes Henrich Schleifenbaum von der RWTH Aachen zu, „es ist ein auftragendes Verfahren, im Gegensatz zu den abtragenden, den Span abhebenden.“ Der Ingenieurwissenschaftler leitet den Lehrstuhl „Digitale additive Produktion“ an der Fakultät für Maschinenwesen. Ebenfalls lenkt er die Forschung am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen. Additive Produktion – das ist der korrekte Begriff für ein ganzes Bündel von Fertigungstechniken, die nach unterschiedlichen Prinzipien funktionieren und sich jeweils nur für ganz bestimmte Materialien eignen. Während es sich bei spanenden Bearbeitungen wie Drehen, Fräsen, Bohren, Sägen um subtraktive Fertigungsmethoden handelt, um Methoden, die Material von einem Rohling wegnehmen, baut die additive Produktion das Bauteil aus dün-



► Bild 1 • Einer von derzeit drei 3D-Druckern im Viessmann Prototypenbau.



▲ Bild 2 • Schnitt durch einen im 3D-Druck hergestellten Inox-Radial-Wärmetauscher aus Edelstahl. Bilder: Viessmann

nen Lagen dreidimensional Schicht für Schicht auf. Es begann vor Jahren mit Kunststoffen. Dort ist man schon relativ weit. Mit entsprechenden Maschinen oder Geräten in der Preiskategorie von 200 oder 300 Euro werkeln heute bereits im privaten Bereich Bastler. Das Prinzip mit Kunststoffen sieht so aus, dass ein geeigneter Werkstoff durch Hitze oder durch hohen Druck verflüssigt und dann auf einer Trägerplatte im Bauraum beziehungsweise auf das Werkstück über eine Düse Lage für Lage aufgetragen wird (Auftragsverfahren). Die Metallindustrie dagegen arbeitet mit einem Metallpulver als Substrat. Damit wird Schicht für Schicht der Bauraum nachgefüllt (Schichtverfahren). Der Laserstrahl schmilzt gezielt nur die Oberfläche in diesem Pulverhaufen auf. Danach überzieht die Maschine das Werkstück mit einer neuen Lage Metallstaub. Der Überschuss bleibt im Bauraum. Titan und Edelstahl bieten sich dafür an. Die Auswahl der Werkstoffe und Legierungen, das sei hier gleich eingeschoben, ist jedoch noch begrenzt.

#### Was tun bei Hinterschneidungen?

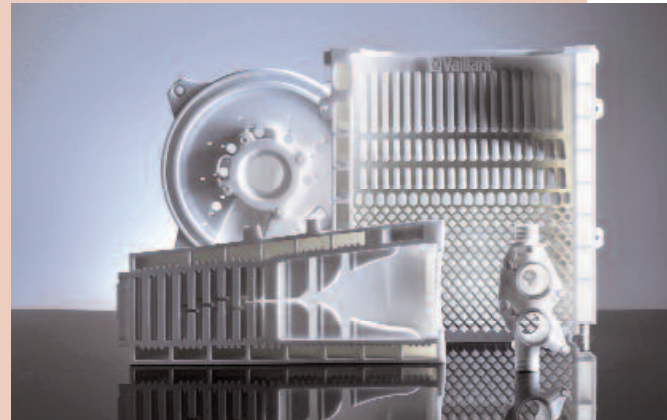
Die 3D-Methode lässt die kompliziertesten Geometrien zu. Deshalb etwas genauer gefragt, zum Beispiel: Wie fertigt man Hinterschneidungen, wie platziert man auf eine kleine eine größere Fläche? Mit Kunststoff als Substrat stellt sich die Frage nicht. Da klebt man, vereinfachend gesagt,

links und rechts etwas an. Die Metallschmelze lässt das naturgemäß nicht zu. Hier müssen sich die Techniker deshalb noch klassisch mit

Stützkonstruktionen behelfen. Diese Aufgabe übernimmt teilweise das Pulver selbst, in dem das Bauteil komplett liegt. Da die Oberfläche alle Laserenergie absorbiert, verflüssigt der Strahl nur eine Tiefe von wenigen Mikrometern. Das geht aber nur bis zu einem bestimmten Grad. Bei größeren Verwinkelungen müssen die Verarbeiter Stützmaterial aufschmelzen und es später mit einem konventionellen Bearbeitungsprozess wie Fräsen oder Erodieren entfernen. Johannes Schleifenbaum: „Das ist beinahe eine Wissenschaft für sich. Wie richte ich das Bauteil am geschicktesten im Bauraum aus, um mit wenigen Stützkonstruktionen zu fahren? Bei einigen Geometrien lässt sich das nun mal nicht vermeiden.“ Programme helfen dabei. Apropos Geometrien: „Das Verfahren im Metallbereich ist schon etwa 20 Jahre alt. Doch haben wir uns eigentlich in diesen beiden Jahrzehnten hingestellt und gesagt, okay, wir wollen serienidentische Materialien verarbeiten,

#### VAILLANT ERÖFFNET 3D-DRUCKCENTER

„Die Vaillant Group hat Ende April in Remscheid das Kompetenzzentrum für digitale 3D-Druckverfahren eingeweiht. Es trägt den Namen 3D-CUBE. Eingesetzt wird das digitale Druckverfahren zunächst in der Vorserienproduktion zum Bau von Prototypen. Es bildet eine Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktion. „Das 3D-Druckverfahren ermöglicht im Vergleich zu klassischen industriellen Fertigungsverfahren die Herstellung von komplexen Bauteilen, Modulen und ganzen Baugruppen in viel kürzerer Zeit und zu deutlich geringeren Kosten. Dies macht den gesamten Entwicklungsprozess flexibler und verkürzt Innovationszyklen in der Produktentwicklung“, erläutert Dr.-Ing. Norbert Schiedeck, Geschäftsführer Technik bei der Vaillant Group, die Vorteile der Technologie. Per 3D-Druck lassen sich dabei auch Geometrien und Strukturen erzeugen, die mit herkömmlichen Werkzeugen und üblicher Verfahrenstechnik überhaupt nicht herzustellen wären. Beispiele hierfür sind der Tier- oder Pflanzenwelt nachempfundene Formen oder ineinander konstruierte Bauteile. Dies gelingt durch einen schichtweisen Aufbau in einem Werkstück. Die Maschinen im 3D-Druckcenter verarbeiten dazu Kunststoffe in unterschiedlichen technischen Verfahren sowie auch Materialien wie Kunstharze, Keramik und Metalle. Nacharbeiten an hergestellten Bauteilen sind nahezu nicht erforderlich. Dies steigert die Fertigungsqualität insgesamt. Auch für Ersatzteile ist das 3D-Druckverfahren perspektivisch eine interessante Lösung: Statt umfangreicher Lagerhaltung oder aufwändiger Nachproduktion könnten bestimmte Teile künftig bedarfsorientiert ausgedruckt werden.“



3D-Druck-  
erzeugnisse  
von Vaillant  
Bild: Vaillant

**3D-DRUCK BEI VIESSMANN**

„Viessmann nutzt schon seit vielen Jahren verschiedene Methoden des Rapid Prototyping und deren Weiterentwicklung, den 3D-Druck. 2014 kam der erste 3D-Drucker im Prototypenbau zur Anwendung. Weitere Geräte folgten, sodass aktuell eine Reihe von 3D-Druckern an mehreren Unternehmens-Standorten im Einsatz ist. Heute verfügt Viessmann über ein fundiertes Know-how zu den verschiedenen Anwendungen dieser Technologie in Produktentwicklung und Fertigung sowie über die unterschiedlichen Werkstoffe, die verarbeitet werden können, wie zum Beispiel Kunststoffe, Kunstharze und Metalle.



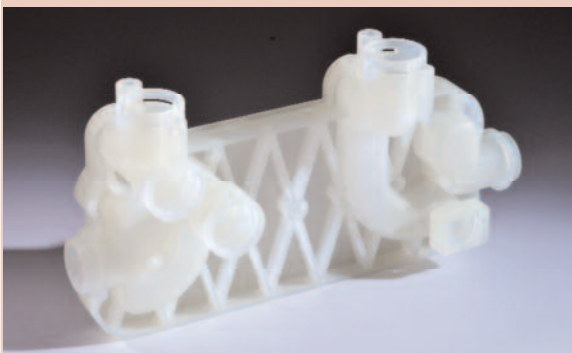
**Bild 1 •** Hydraulische Vorlaufeinheit aus Kunstharz mit zahlreichen Hinterschnitten

**3D-DRUCK IM PROTOTYPENBAU**

Am Unternehmensstammsitz in Allendorf (Eder) sind derzeit drei Geräte im Prototypenbau installiert. Sie dienen vor allem der Herstellung von Design- und Funktionsmustern wie zum Beispiel von Hydraulikkomponenten. Diese haben häufig eine sehr komplexe Geometrie mit zahlreichen Hinterschnitten, die eine kostengünstige Herstellung mit herkömmlichen Gießverfahren erschwert. Der 3D-Druck ermöglicht eine besonders große Flexibilität bei der Gestaltung dieser Bauteile (Freedom of Design), da Hinterschnitte nicht berücksichtigt werden müssen. Neben Funktionsmustern aus Kunststoffen und Kunstharzen kommt insbesondere für im 3D-Druck hergestellte Wärmetauscher auch Edelstahl zum Einsatz. Damit können diese Komponenten unter realistischen Betriebsbedingungen auch warm geprüft werden. Die Vorteile gegenüber herkömmlichen Methoden des Prototypenbaus sind erheblich kürzere Reaktionszeiten und damit die entsprechend schnellere Umsetzung von Gestaltungs- und Konstruktionsideen. Das aufwändige Herstellen von Formen entfällt. So kann eine Idee innerhalb weniger Stunden zum Bauteil werden, anstatt erst nach einer häufig mehrwöchigen konventionellen Herstellung. Darüber hinaus führte der 3D-Druck zu einer deutlich erhöhten Ressourceneffizienz durch erhebliche Materialeinsparungen. Neben der Zeit- und Materialersparnis reduzierte der 3D-Druck auch die Entwicklungskosten erheblich und es wurde eine frühzeitige Prozessabsicherung durch funktionstüchtige, temperaturbeständige Prototypen erreicht.

**ANWENDUNG IN FERTIGUNG UND ERSATZTEILHERSTELLUNG**

Zunehmende Bedeutung erhält der 3D-Druck auch in der Fertigung. Unter dem Oberbegriff Rapid Tooling werden unter anderem Fertigungshilfsmittel, wie zum Beispiel Schablonen, hergestellt. Wie im Prototypenbau, so wirkt sich auch hier die Zeitersparnis gegenüber der herkömmlichen Herstellung solcher Vorrichtungen besonders vorteilhaft aus. Außerdem trägt das Verfahren zur Verbesserung der Ergonomie am Arbeitsplatz bei. Beispielsweise wurden damit Halterungen für Druckluftschrauber hergestellt, die ein ergonomisch optimiertes, ermüdungsfreies Ablegen beziehungsweise Aufnehmen des Schraubers ermöglichen. Eine weitere Anwendung des 3D-Drucks bei Viessmann ist die kostengünstige Herstellung von Ersatzteilen wie Vierteldrehverschlüsse und spezielle Scharniere zur Befestigung von Gehäuseteilen.



**Bild 2 •** Im 3D-Druck hergestellter Hydraulik-Anschlussblock für Plattenwärmetauscher Bilder: Viessmann

**UNTERNEHMENSINTERNE 3D-DRUCK-PLATTFORM**

Insgesamt wurden bis heute über 2.000 Bauteile für die unterschiedlichsten Anwendungen im 3D-Druck hergestellt. Um die 3D-Drucker des Unternehmens noch besser auszulasten und um darüber hinaus einen einfachen Austausch von Ideen und Know-how zu ermöglichen, wurde unternehmensintern eine internetbasierte 3D-Druck-Plattform etabliert. Mittlerweile nutzen mehrere hundert Mitarbeiter aus Entwicklung und Produktion diese Plattform, bestellen 3D-Drucke und stellen ihre Ideen zu neuen Anwendungen zur Diskussion.“

damit die Prototypen auch jene Funktionseigenschaften aufweisen, die das spätere Serienerzeugnis hat oder haben muss. Das hat zur Folge, dass Sie Materialien einsetzen, die eigentlich nie für diesen Prozess gedacht

sind. Sie arbeiten ja bei diesem additiven Verfahren mit riesigen Aufheiz- und Abkühlraten. Sie müssen sich das so vorstellen, dass klassisch ein Gussblock unter Umständen einige Tage liegt, bis er wirklich kom-

plett erstarrt ist. Die Abkühlrate der winzigen Schmelze, die Sie mit der additiven Produktion erzeugen, bewegt sich demgegenüber bei einer Million Kelvin oder Grad Celsius pro Sekunde.“

**Gesucht: die richtigen Werkstoffe**

Die Metallkugeln erstarren sozusagen schon mit dem Aufweichen. „Und das machen nur wenige Werkstoffe mit. Hier liegt der Hauptschwerpunkt von Forschung und Entwicklung. Genau genommen befinden wir uns sogar noch in der pränatalen Phase, also noch vor der Geburt dieses neuen Forschungsbereichs. Wir müssen noch die passenden Materialien designen, um dann auch ihre völlig neuen Eigenschaften zu nutzen. Diese Teile sind zu identifizieren. General Electric etwa hat jetzt eine Einspritzdüse für ihre neuen Triebwerke vorgestellt, die ausschließlich additiv hergestellt wird. Das ist Neuland.“ Mit der Düse für Triebwerke ist unter anderem angedeutet, dass es sich vorerst nicht um Massenprodukte handelt, die sich für den 3D-Druck anbieten. „Die Geschwindigkeit lässt eigentlich keine Massenfertigung zu. Sie müssen Lage für Lage auftragen. Und wir sprechen von wenigen Mikrometern pro Lage. Das dauert seine Zeit, unter Umständen Stunden.“ Zugegeben, 40.000 bis 60.000 Einspritzdüsen pro Jahr rangieren nicht gerade unter dem Kapitel Kleinserie. Doch gab die verzwickte Form des Produkts den Ausschlag für die Laserschmelztechnologie. Klassisch hergestellt setzte sich die Triebwerkskomponente aus zwanzig Einzelteilen zusammen, die zu gießen, zu fräsen und nachzubearbeiten waren. Die 3D-Maschine fertigt sie in einem Stück. Das spart Personal, Gewicht, Material und Lagerkosten.

**Anpassung von Design und Programmen**

Wer erstellt die Programme? Sind das übliche CAD-Programme, die nur modifiziert werden müssen? Oder ist das Schreiben der Software ein aufwendiger Prozess? „Das ist in der Tat das weitere spannende Feld, das sich da auftut, neben den Werkstoffen. Sie können zwar jedes gängige CAD-Programm nutzen, um die Modelle zu erstellen. Die Schwierigkeit ist aber die, dass der gute Konstrukteur und Designer die kreative Fähigkeit besitzt, die Gestaltungsmöglichkeit, die ihm das Verfahren bietet, unter Kostengesichtspunkten in Software umzusetzen. Den müssen Sie finden. Das ist eigentlich die größte Herausforderung. Wir können ja völlig neue

Formen generieren, sozusagen bionisch optimiert, in Anlehnung an die Natur. Nur zerschneiden wir das, was wir da erstellen, in 0,03 mm dicke Schichten für das Pulverbett. Das muss das CAD-Modell berücksichtigen. Die Revolution in der Fertigung, von der einige sprechen – ich bin aber sehr vorsichtig mit solchen Äußerungen –, steht erst an, wenn das Design die Möglichkeit des Verfahrens berücksichtigt. So gesehen muss es zunächst zu einer Designrevolution kommen, bevor eine Produktionsrevolution erfolgen kann. Ein Bohrer kann nun mal nur runde Löcher bohren, keine zackigen.“ Soll sagen, die Produkte für den täglichen Gebrauch haben wir fertigungsgerecht optimiert, nicht nutzungsgerecht. „Das steckt noch in den Köpfen der Designer. Schauen Sie sich mal in der Natur um, beispielsweise wie ein Baum gewachsen ist. Der Baum kennt keine Symmetrie. Der kennt

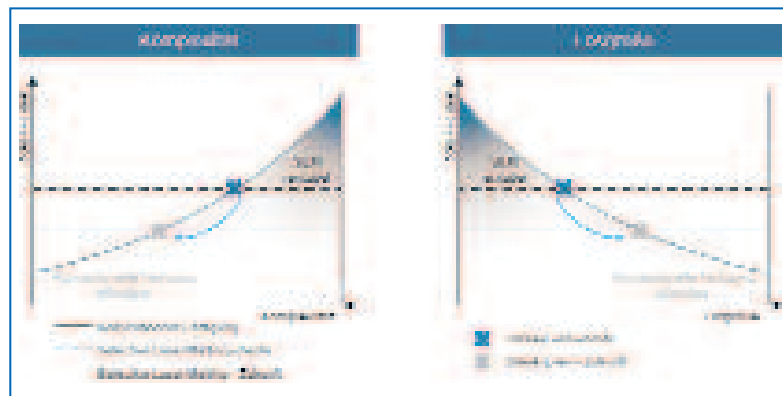


▲ Bild 3 • „Genau genommen befinden wir uns immer noch in der pränatalen Phase“, Johannes Henrich Schleifenbaum

eine Belastungsrichtung, die sich an der Windrichtung orientiert. Er wächst in diese Richtung. Erst wenn wir für unsere Produkte nach Analogien in der Natur suchen und die Struktur entsprechend gestalten, werden wir eine Revolution in der Fertigung erleben.“



▲ Bild 4 • Einordnung der verschiedenen AM-Verfahren. SLM Selektives Laserschmelzen, EBM Selektives Elektronenstrahlschmelzen, Laser Metall Deposition, SLS Selektives Lasersintern, FDM Schmelzschiichtung. Sintern findet unterhalb der Schmelztemperatur ab, die Materialkörner verbacken miteinander. Während AM Additive Manufacturing die Fertigungstechnik beschreibt, geht der ebenfalls häufig verwandte Synonym-Begriff Rapid Prototyping auf die Zielsetzung von AM ein, auf die schnelle Fertigung von Prototypen.



▲ Bild 5 • Rentabilität in Abhängigkeit von Losgröße und Komplexität

Bilder 3 bis 5: Fraunhofer ILT

## BESONDERHEITEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Die nachstehende Zusammenfassung ist dem „Grindaix-Magazin“ entnommen:

„Die additiven Fertigungsverfahren bergen neben all den Vorteilen jedoch auch Herausforderungen und mögliche Nachteile.

1. Bestimmte Geometrien, vor allem Bögen und Verrundungen, bergen beim 3D-Drucken einen verfahrensbedingten Nachteil. Diese müssen mit Hilfe von Stützkonstruktionen (engl. Supports) versehen werden, damit die gewünschte Geometrie erreicht werden kann. Die Stützkonstruktion muss nach Fertigstellung des Bauteils wieder entfernt werden, was einen zusätzlichen Nachbearbeitungsschritt erforderlich macht. Konstruktiv lässt sich die Notwendigkeit von Stützkonstruktionen unter Umständen vermeiden, was allerdings die Beachtung dieser 3D-Druck-spezifischen Anforderungen an die stützlastkonforme Konstruktion bei der Bauteilgestaltung notwendig macht. Das ist eine Frage des Designs (Anmerkung der Redaktion: wie im nebenstehenden Haupttext angesprochen).
2. Durch den schichtweisen Aufbau des Bauteils beim 3D-Drucken entsteht verfahrensbedingt ein stufenähnlicher Aufbau der Bauteilstruktur. Damit geht einher, dass die Oberflächengüten additiv gefertigter Bauteile um ein Vielfaches schlechter sind, als die der konventionell gefertigten Werkstücke.
3. Ebenfalls ist nahezu in allen Fällen bei vorgesehenen Bohrungen, Gewinden und Passungen eine Nachbearbeitung erforderlich.
4. Weiterhin kann es durch die zum Schmelzen des Materials eingebrachte Wärme zu einem Hitzeverzug im Bauteil kommen, der die Maßhaltigkeit des 3D-Druck-Bauteils negativ beeinflusst.
5. Das verwendete Metallpulver stellt außerdem ein Sicherheitsrisiko dar. Neben der stark gesundheitsschädlichen Wirkung durch Einatmung der lungengängigen Feinstpartikel, kann es bei Kontakt der Stäube mit offenem Feuer zu einer Staubexplosion kommen. Daher ist eine gründliche Entfernung des Metallpulvers nötig, auch um aus rein wirtschaftlichen Gründen einen übermäßig großen Austrag des noch verwendbaren Pulvers aus der Maschine zu verhindern.
6. Da beim Lasersintern verfahrensbedingt sehr viel Wärme in das Bauteil gelangt, versprödet der Werkstoff. Damit einher geht ein Verlust an Zähigkeit, wodurch 3D-Druckbauteile für gewisse Lastkollektive Nachteile gegenüber konventionell gefertigten Bauteilen aufweisen.“

### Hohe Investitionskosten

Material ist der erste, die Programme und das Produktdesign der zweite und die Maschinenteknik der dritte Bereich, in dem noch ein erhebliches Entwicklungspotenzial schlummert. „Wir wollen mit AM, mit Additive Manufacturing, umgangssprachlich 3D-Druck, mehr Qualität erzeugen. Wir müssen die Verfahren zur höchsten Zuverlässigkeit trimmen. Wir wollen hundert Prozent Qualität, nicht hundert Prozent Qualitätskontrolle. Damit entsteht allerdings auch signifikanter Druck auf die Herstellkosten der Maschinen. Denn die Standardanlagen bewegen sich in der Größenordnung um 500.000 Euro. Das muss auf einen Betrag herunterskaliert werden, der AM für Metalle auch für den Mittelstand tragbar

macht. Aus unserer Ecke gibt es eine Entwicklung, die auf dem relativ einfachen Konzept eines Ionenlasers aufbaut. Und zwar zu einem Zehntel des Preises. Solche Entwicklungen sind selbst an den kleinen Mittelständler adressiert, an den 10-Mann-Betrieb. Dort steht in der Regel ein subtraktiver Maschinenpark, mit dem man Passungen und Funktionsflächen nachbearbeiten kann.“ Die Bemerkung zur Nachbearbeitung zielt auf die Rauigkeit AM-gefertigter Teile ab. Sie muss nicht sein, die Rauigkeit. Nur setzt eine spiegelglatte Oberfläche gleich aus der Maschine ein Vielfaches von Schichten voraus, gegenüber einer tolerierbaren Anzahl plus einem anschließenden Polierschritt. Die Rauigkeit hängt vom Durchmesser des Pulverkörnchens ab. Feinster

Metallstaub als Basis für Hochglanz zieht nun mal eine Unzahl von Lagen nach sich, bis die notwendige Materialstärke erreicht ist. Das rechnet sich in der Regel nicht.

### Am Anfang und am Ende

Wie sieht es mit den Festigkeitseigenschaften der Laserschweißteile aus? „Die Festigkeit liegt bei einer Dichte von neunundneunzig Komma einigen Prozent zwischen Gießen und Schmieden. Sie ist also höherwertiger als das reine Gießen. Hier hinein spielt auch die Frage der Korngröße, die man wählt. Die eigentlichen Vorteile bestehen in den wenigen Vorarbeiten, die notwendig sind, um einen Prototyp zu bauen. Es reicht sozusagen das virtuelle Modell im Computer und schon kann man loslegen. Wie gesagt, wenn man später in die große Serie hineingeht, ist man jedoch noch nicht so schnell, dass man der klassischen Span abhebenden Fertigung Konkurrenz machen könnte.“ Professor Schleifenbaum sieht zurzeit AM am wirtschaftlichsten geeignet für die Produktion der Prototypen, dann für die Vorserie und für die Nachlieferung. „Für die Hochzeit eines Produktes, für die Spanne der Massenfertigung, bieten sich schnellere Verfahren als das Schicht-für-Schicht-Auftragen an. Am Ende seines Nachfrage- oder Lebenszykluses dagegen, wenn es sich im Prinzip nur noch um Nachlieferungen und Ersatzteile handelt, muss man nicht mehr den ganzen Maschinenpark vorhalten. Man kann die Daten hinterlegen und selbst Einzelstücke kostengünstig herstellen.“

### Zwei Aktivisten

Soviel zum Stand der Entwicklung der AM-Methode, also des 3D-Drucks. Was tut sich in der Heizungsindustrie? SHT fragte bei Viessmann nach. Die Antwort steht im Kasten „3D-Druck bei Viessmann“ Und Vaillant schickte kürzlich eine Presseinformation zur Eröffnung des 3D-Druckcenters heraus. Das Kompetenzzentrum will sich auf die Prototypenentwicklung konzentrieren. Mit Sicherheit sind die beiden Genannten nicht die einzigen in der Branche, die die relativ neue Formgebung nutzen. Die beiden Meldungen sollen lediglich die Branchennähe des Themas bezeugen.

[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)