

# **Innovationen made in NRW**

## Potenziale von Additive Manufacturing



# Inhalt

<b>Eine junge Technologie mit viel Potenzial</b>	4
Prof. Dr. Andreas Pinkwart	
<b>Mit Additiver Fertigung zu zukunftsweisenden Produkten</b>	5
Wolf D. Meier-Scheuven	
<b>Gut vernetzt in die Additive Fertigung</b>	6
VDMA AG Additive Manufacturing	
<b>Das Leichtbau-Motorhaubenscharnier LightHinge+</b>	8
voestalpine Additive Manufacturing	
<b>Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten...</b>	10
ACAM Aachen Center for Additive Manufacturing	
<b>Im Land der unbegrenzten (Design-)Möglichkeiten</b>	12
Murtfeldt Kunststoffe	
<b>Wartungsfreie Verschleißteile aus dem 3D-Drucker</b>	14
igus	
<b>Eine staubige Angelegenheit – Vom Rapid Prototyping zur additiven Serienfertigung</b>	16
Protiq	
<b>Additive Fertigung von Einzelstücken und Kleinserien lohnt sich</b>	18
Systec	
<b>Keramikbauteile mit Licht drucken</b>	20
Steinbach	
<b>Ganzheitliche Prozesskette als Schlüssel zum Erfolg</b>	22
DMG Mori Academy	
<b>Brücke zwischen Industrie und Forschung</b>	24
Direct Manufacturing Research Center (DMRC), Universität Paderborn	
<b>4D-Textilien: Morphende textile Hybridstrukturen für Medizin, Automobil und Aerospace-Anwendungen</b>	26
Institut für Textiltechnik, RWTH Aachen	
<b>Additive Fertigung wird hybrid – Metall kombiniert mit Keramik</b>	28
Lehrstuhl Hybrid Additive Manufacturing, Ruhr-Universität Bochum	
<b>Schicht für Schicht zur Turbine</b>	30
Solidteq	
<b>Additive Fertigungsmethoden im Sondermaschinenbau</b>	32
Atlas Copco Energas	
<b>Impressum</b>	34

# Eine junge Technologie mit viel Potenzial



**Prof. Dr. Andreas Pinkwart**  
Minister für Wirtschaft,  
Innovation, Digitalisierung  
und Energie des Landes  
Nordrhein-Westfalen

Sehr geehrte Damen und Herren,

Nordrhein-Westfalen ist ein führender Industriestandort mit hoher Innovations- und weltweiter Strahlkraft. Mit einem einzigartigen Mix aus spezialisierten kleinen und mittelständischen Betrieben sowie Großunternehmen schafft die Industrie Werte und industrielles Wachstum. Sie gibt ökologische, ökonomische wie auch soziale Impulse, sichert gute Arbeitsplätze und Wohlstand.

Dem Maschinen- und Anlagenbau kommt dabei eine besondere Rolle zu. Er ist nicht nur der größte industrielle Arbeitgeber im Land, sondern durch seine Rolle als Ausrüster auch Taktgeber für viele weitere Branchen. Die Additive Fertigung hat daran einen maßgeblichen Anteil, denn mit ihr können neue Produkte deutlich schneller entwickelt und hergestellt werden. Damit stellt sie eine wichtige Ergänzung zu traditionellen Herstellungsverfahren dar. Die neue Fertigungstechnologie hat starke Wurzeln in Nordrhein-Westfalen. Pioniere und namhafte Konzerne an Rhein, Ruhr und Lippe setzen auf Additive Fertigung und investieren damit in die Zukunftsfähigkeit unseres Landes.

Als Landesregierung unterstützen wir die Unternehmen dabei. Wir treiben die Forschung im Bereich Additive Fertigung voran und schaffen so beste Voraussetzungen dafür, dass Unternehmen auf sich verändernde Anforderungen am Markt reagieren und neue Geschäftsfelder erschließen können. Unser Ziel ist es, das enorme Potenzial dieser Technologie noch stärker auszuloten und sie zu einem Wachstumsmotor für Nordrhein-Westfalen zu machen.

Mit seiner Reihe „Innovationen made in NRW“ veranschaulicht das Landescluster ProduktionNRW die vielen positiven Entwicklungen in Nordrhein-Westfalen und rückt dabei in dieser Ausgabe besonders die Stärken der Additiven Fertigung in den Fokus.

Ihr  
Prof. Dr. Andreas Pinkwart

# Mit Additiver Fertigung zu zukunftsweisenden Produkten



**Wolf D. Meier-Scheuven**  
Clustersprecher  
ProduktionNRW

Sehr geehrte Damen und Herren,

der Maschinenbau in Nordrhein-Westfalen ist nicht zuletzt aufgrund seiner guten Vernetzung besonders stark. Kleine, mittelständische und große Unternehmen, Forschungseinrichtungen sowie Hochschulen arbeiten eng zusammen, um im Sinne des Kunden fortschrittliche Produkte zu entwickeln und Lösungen für die Herausforderungen unserer Zeit zu finden. Der Wissens- und Informationsaustausch ist ein wichtiger Grund für die Innovationskraft der Branche und führt auch im Bereich der Additiven Fertigung zu zukunftsweisenden Resultaten.

Das werkzeuglose Fertigungsverfahren gewinnt in der Produktion in Nordrhein-Westfalen zunehmend an Bedeutung. Seine Vorteile entfaltet es dabei gerade in Bereichen, in denen die konventionelle Fertigung an ihre Grenzen stößt. So ermöglicht die Additive Fertigung etwa im Prototypenbau, bei individuellen Einzelteilen oder Bauteilen mit einer komplizierten Geometrie eine effiziente und wirtschaftliche Produktion. Aber auch darüber hinaus eröffnet sie eine Vielzahl neuer Geschäftsmodelle. So können Kunden innerhalb kürzester Zeit mit den gewünschten Prototypen, Werkzeugen oder Bauteilen beliefert werden, die dieselbe Funktionalität, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit wie bei herkömmlicher Herstellung aufweisen.

Die vielfältigen Anwendungsbeispiele in unserem Innovationsmagazin „Innovationen made in NRW“ beleuchten das Engagement des nordrhein-westfälischen Maschinenbaus. Sie zeigen, welche enormen Chancen die Additive Fertigung bietet, machen zugleich aber auch deutlich, wo die Herausforderungen liegen. Den Unternehmen der Branche gibt das Magazin wertvolle Entscheidungshilfen für die Implementierung eigener innovativer Fertigungsprozesse an die Hand.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre und viele neue Impulse!

Ihr  
Wolf D. Meier-Scheuven

# Gut vernetzt in die Additive Fertigung

JESSICA GÖRES

Komplexe Bauteile ressourceneffizient und ohne Werkzeug fertigen? Was volkstümlich 3D-Druck genannt wird, ist längst ein Maschinenbauthema par excellence. Über 140 Unternehmen, Hochschulen und Forschungsinstitute haben das erkannt und sich der Arbeitsgemeinschaft Additive Manufacturing im VDMA angeschlossen. Akteure aus NRW sind stark vertreten.

Bei der Analyse von Vogelskeletten, Pilzen oder Bäumen kommen Leichtbauingenieure ins Schwärmen. Denn die Natur schafft perfekte Kompromisse zwischen Stabilität und Gewichtsoptimierung. Doch die natürlichen Vorbilder in bionische Strukturen zu übersetzen, scheiterte lange an ihrer Komplexität. Spanende Verfahren und Gussprozesse stießen an Grenzen. Erst recht bei geringen Stückzahlen. Es lohnte sich selten, den hohen Aufwand der Formgebung zu betreiben.

Additive Manufacturing (AM) stellt die Verhältnisse auf den Kopf. Weil Bauteile Schicht für Schicht aus Pulver, Draht oder Kunststofffilamenten aufgebaut werden, ergibt sich eine nahezu beliebige Gestaltungsfreiheit. Wandstärken lassen sich gemäß der späteren Belastung variieren, Hohlräume mit

stabilisierenden Waben- und Gitterstrukturen ebenso ins Bauteil verlegen wie Kühl-, Pneumatik- oder Hydraulikanäle. Und es gibt zahlreiche Beispiele von Funktionsintegration, seien es Kabelhalter mit Klemmfunktion oder Pneumatik-Greifsysteme, deren Struktur die Luft führt.

Variierende Wandstärken, Hohlräume, Wabenstrukturen – das sind Grundzutaten der Bionik. Additive Prozessketten setzen sie um. Das beginnt im Zusammenspiel von digitaler Konstruktion und Simulationen für die optimale Bauteilauslegung. Die digitalen Datensätze lassen sich direkt drucken, wobei im Sinne der Effizienz möglichst viele virtuelle Bauteile im Bauraum der Anlagen angeordnet werden. Nach dem Druckprozess werden sie bei Bedarf wärmebehandelt, dann von Material-

resten befreit, getrennt und nachbehandelt.

## Ziel: Additive Prozesskette industrialisieren

Die grob umrissene Prozesskette birgt in allen Schritten Optimierungspotenzial. Denn AM ist ein junges Technologiefeld – im Prototyping etabliert, doch in Serienprozessen müssen sich die vielfältigen additiven Metall- und Kunststoffverfahren erst bewähren. Die gute Nachricht: Immer mehr Unternehmen und Forschungsinstitute sind entschlossen, AM-Verfahren diese Bewährungschance zu geben.

Ein wichtiger Treffpunkt der wachsenden Community ist die Arbeitsgemeinschaft Additive Manufacturing im VDMA. Über 140 Mitgliedsfirmen und -institute haben sich ihr seit Gründung Mitte

Grafiken: VDMA

<b>Beam Melting / Sintering</b> (LBM, EBM, LS, HSS)	<b>3D – Printing / Binder Jetting</b>	<b>Fused Layer Modeling / Freeformer</b>	<b>Polyjet</b>	<b>Stereolithographie</b>	<b>Laminated Layer Modeling</b>	<b>DMD, EBW, MPA.. Hybrid-Anlagen</b>
<b>Metall, Kunststoff</b>	Gips, Keramik, Quarz, <b>Metall</b> , Kunststoff	Thermoplaste (+ Füllstoffe, auch metallisch)	Fotopolymer (+ Füllstoffe), Wachs	Fotopolymer (+ Füllstoffe, z. B. Keramik)	Papier, Kunststoff, CFK	<b>Metalle</b> (Pulver, Draht)
Prototypen, Kleinserien, Werkzeuge, Funktionsbauteile	Prototypen, Modelle, Gussformen	Modelle, Prototypen, Konsumartikel	Modelle, Prototypen, Gussformen	Modelle, Prototypen	Muster, Modelle	Einzelteile, Kleinserien, Werkzeuge, Reparaturen
Und weitere: Extrusion, Siebdruck, Gel-Dispensing...						

Verfahrensvielfalt im Additive Manufacturing.

2014 angeschlossen, um gemeinsam die Industrialisierung additiver Prozessketten voranzutreiben. Darunter führende Forschungseinrichtungen aus NRW. Sei es das Direct Manufacturing Research Center (DMRC) der Universität Paderborn, das Rapid Technology Center (RTC) der Universität Duisburg-Essen oder die RWTH Aachen mit ihren Instituten für Lasertechnik (ILT) und dem Lehrstuhl für Production Engineering of E-Mobility Components (PEM). Daneben wirken zwei Dutzend nordrhein-westfälische Zulieferer, Fertigungsdienstleister und industrielle Anwender in der Arbeitsgemeinschaft mit.

„Das Zusammenwirken von Akteuren aus allen Bereichen entlang der Wertschöpfungskette macht die Stärke unserer offenen Arbeitsgemeinschaft aus“, sagt Rainer Gebhardt, der im VDMA als Projektleiter für das wachsende Netzwerk verantwortlich ist. Monatlich stoßen neue Mitglieder dazu, die spezifisches Know-how einbringen. Es bildet sich ein Kulminationspunkt, an dem frische Ideen und neue Akteure den Austausch mit etablierten Branchen Größen suchen und finden.

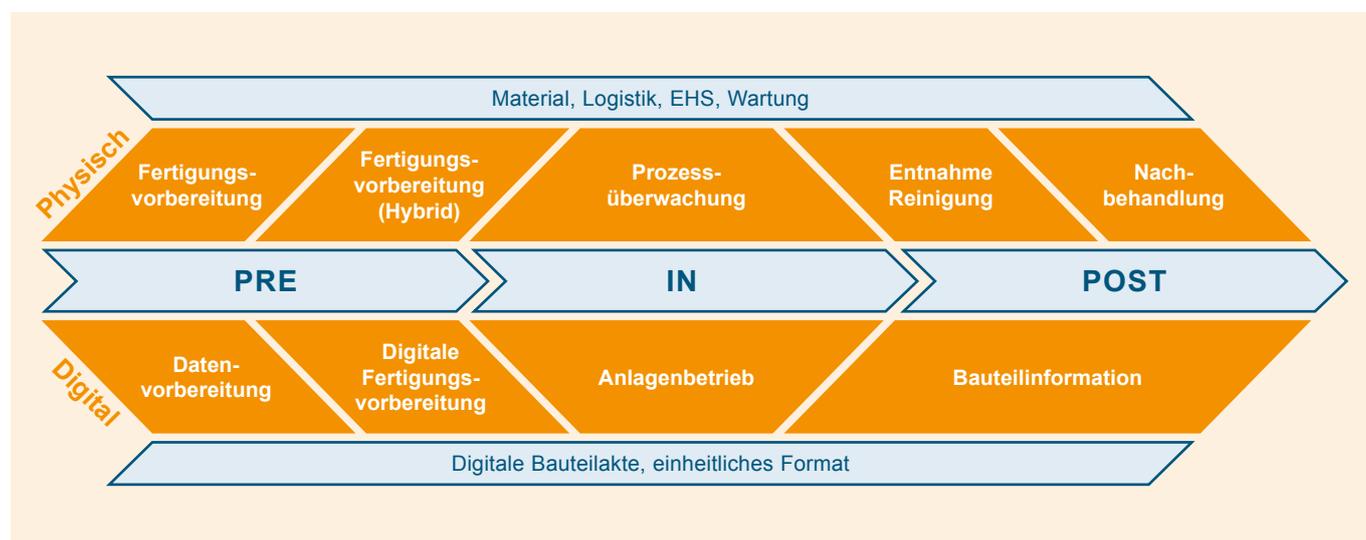
Viele der Mitglieder übertragen langjährige Erfahrungen aus anderen Industrien auf additive Prozesse. Dadurch, dass Perspektiven der Hersteller von AM-Anlagen und ihrer Zulieferer mit den Erfahrungen von Software- und Automatisierungsspezialisten, Anbietern der Materialien, Prozessgase, Vakuum- und Luftreinigungstechnik sowie industriellen Anwendern und Fertigungsdienstleistern zusammenkommen, ergibt sich in den Arbeitskreisen der Arbeitsgemeinschaft ein differenziertes Lagebild.

**Automatisierung und Standardisierung vorantreiben**

Die Mitglieder sind sich der Stärken additiver Verfahren bewusst. Sie wissen um die Designfreiheit und Ressourceneffizienz gegenüber spanenden Verfahren, um die Möglichkeiten zur Individualisierung und zur Reparatur durch Schichtauftrag sowie die kurzen Wartezeiten, die eine völlig neue, dezentrale Ersatzteillogistik mit Print-on-demand-Prozessen ermöglichen. Doch sie wissen ebenso, dass auf dem Weg in eine effiziente additive Serienfertigung noch manche Hürde zu nehmen ist.

Jüngst haben sie eine „Roadmap Automatisierung“ entwickelt, die Wege zu Additive Smart Factories aufzeigt. Und sie erarbeiten in einem „Arbeitskreis Druckgeräte“ Standards, damit die konstruktiven Freiheitsgrade additiv gefertigter Armaturen, Ventile oder Rohrverteiler künftig im Geltungsbereich der europäischen Druckgeräterichtlinie nutzbar werden. „Wir führen geballte Kompetenz und Erfahrungen zusammen, damit additive Verfahren zügig die nötige Reife für industrielle Prozesse erlangen“, erklärt Gebhardt. Letztlich gehe es darum, das Maschinenbauthema Additive Manufacturing jenseits aller Hype-Rhetorik nachhaltig im deutschen Maschinen- und Anlagenbau, in der Politik und in der Öffentlichkeit zu verankern.

.....  
 ●  
 .....  
 Jessica Göres  
 Öffentlichkeitsarbeit  
 VDMA AG Additive Manufacturing  
 Frankfurt am Main  
<https://am.vdma.org>  
 .....



Automatisierungs-Roadmap zur Smart Factory.

# Das Leichtbau-Motorhaubenscharnier LightHinge+

ERIC KLEMP UND JENS CHRISTOFFEL

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit von voestalpine Additive Manufacturing GmbH, EDAG Engineering Group AG und Simufact Engineering GmbH zeigt, wie Additive Fertigung (AM) wirtschaftlich umgesetzt werden kann. Voraussetzung ist, dass alle Teile der Prozesskette von der Idee bis zum Produkt vollständig verstanden und umgesetzt sind und die beteiligten Prozesspartner ihr Wissen intensiv teilen.

Additive Fertigungsverfahren bieten viele Möglichkeiten und bei richtiger Verfügbarkeit und Anwendung von Wissen – insbesondere, wenn es anwendungsbezogen zur Verfügung steht – ergeben sich erhebliche Potenziale. Dazu zählt neben der Umsetzung von Leichtbau auch die Integration von bisher für unmöglich gehaltenen Funktionen. Ein Beispiel für die Kombination von Erfahrung, Wissen und Motivation ist das LightHinge+ Motorhaubenscharnier, das in der interdisziplinären Zusammenarbeit entstanden ist.

Durch effizientes Engineering konnte das Gewicht des Scharniers um 52 Prozent verringert und zusätzlich eine Fußgängerschutzfunktion integriert werden. Darüber hinaus wurden die Produktions- und Nacharbeitsprozesse verkürzt und es entstand eine verzugsoptimierte, werkzeuglose Herstellung mit geringer Nacharbeit.

## Leichtbau und Integration von Zusatzfunktionen

Motorhaubenscharniere sind in jedem Fahrzeug verbaut und ein in Blech-, Guss- oder Schmiedebauweise hergestelltes, 1,5 kg schweres Standardprodukt. Die Sicherheitsanforderungen sind sehr hoch. Moderne – aktive – Motorhaubenscharnier-Systeme bieten im Falle einer Kollision dem Fußgänger durch aktives Anheben der Haube einen zusätzlichen Schutz: Im Crashfall sorgt ein in Sekundenbruchteilen auslösender pyrotechnischer Aktuator für ein Anheben der Haube um einige Zentimeter.

Für diese Funktion ist eine komplexe Kinematik erforderlich. Sie besteht aus bis zu 40 Einzelbauteilen mit entsprechend hohen Montage- und Werkzeugkosten. Da dies sehr aufwändig ist, ist eine Umsetzung in Massenfertigung aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich. Auch verhindern Designgründe und

nicht verfügbare Bauräume im Vorderwagen eine Umsetzung.

## Verschiedene Perspektiven durch interdisziplinäres Team

Vor diesem Hintergrund begann die Kooperation der Projektpartner, um eine kostengünstige, funktionstüchtige und leichte Lösung umzusetzen. Mit einem interdisziplinären Team sollten mithilfe von Kreativmethoden neue konzeptuelle und umsetzbare Lösungen für ein neues Bauteil geschaffen werden. Dazu zählten zunächst das automotivische Fachwissen der Leichtbau-, Sicherheits- und Karosseriebau-Fachexperten von EDAG, die Expertise der AM-Materialien und Fertigungsmöglichkeiten sowie die Simulationskompetenz von Simufact.

Zunächst wurde ein Werkstoff gewählt, der die hohen Anforderungen an Festigkeit und Steifigkeit erfüllt und mit AM-Prozessen verarbeitet werden kann. Anschließend wurde eine Topologie-Optimierung durchgeführt, um eine belastungsgerechte und leichte Konstruktion im bionischen Design zu erhalten. Um den prozessbedingten Bedarf an Stützstrukturen zu reduzieren, wurde in enger Zusammenarbeit der Bereiche Konzeption, Entwicklung, Berechnung und Test der Projektpartner sowie mithilfe der Additiven Fertigung von voestalpine eine optimale Bauteilausrichtung gefunden, die zu einer maßgeblichen Reduktion des Gewichtes, der Bauzeit und der nachfolgenden Bearbeitungsschritte führte.



Das LightHinge+ bietet neben den technischen Vorteilen auch ein optisch ansprechendes Design.

Fotos: EDAG Engineering



Motorhaubenscharnier in Additiver Fertigung (links) und als Blechbauweise (rechts).

Der Aufwand hat sich gelohnt: Durch umfangreiche konstruktive Änderungen und der Anwendung des bionischen Ansatzes konnte ein Gewichtsvorteil von 52 Prozent gegenüber der Referenzbauweise in Blech erzielt werden. Neben den technischen Aspekten konnte auch ein optisch ansprechendes Erscheinungsbild mit filigranen, bionischen Strukturen erreicht werden, was das LightHinge+ zu einem Designobjekt zur Inszenierung von Sportlichkeit und Exklusivität macht.

Ein entscheidender Vorteil von AM sind die neuen geometrischen Freiheiten, die sich bieten. Für das Projekt heißt das, dass eine komplexe Sollbruchstruktur umgesetzt werden konnte. Diese bricht bei einer definierten Krafteinwirkung eines pyrotechnischen Aktuators und ermöglicht einen zusätzlichen Grad an Bewegungsfreiheit. Somit ist es möglich, dass sich bei einer Kollision des Fahrzeuges mit einem Fußgänger die Motorhaube um etwa 5 cm anhebt.

Der entstehende Freiraum wirkt als Knautschzone, federt den Aufprall des Fußhängers ab und schützt ihn somit vor harten Fahrzeugkomponenten. Diese entscheidende Funktion konnte durch Additive Fertigung ohne zusätzliche Kosten integriert werden. Der Anbindungspunkt der Gasdruckfeder, die Halterungen des Wischwasserschlauches und die Führung der Bundschraube im Scharnier wurden ebenso in das Bauteil integriert. Damit redu-

zierte sich die Teileanzahl um 68 Prozent gegenüber der Blech-Referenz.

Des Weiteren ist diese hochintegrierte Scharnierfunktion wesentlich kompakter und kann daher in den begrenzten Bauräumen von High-Performance-Fahrzeugen eingesetzt werden. Die Umsetzung der neuen Technologie – und die simulationsbasierte Vorhersage in einem Komponententest – haben bestätigt: Bei dem Versuch wurde die Sollbruchstelle wie geplant gelöst und der erforderliche Freiheitsgrad hergestellt.

#### Verzugs- und Eigenspannungsminimierung

Bei der Herstellung des Scharniers entsteht prozessbedingt bei der Additiven Fertigung ein lokal sehr konzentrierter Wärmeeintrag mit hohen Aufheiz- und Abkühlraten, der möglicherweise zu Verzug und Eigenspannungen im Bauteil führen kann. Dies konnte durch eine speziell für die Additive Fertigung erarbeitete Softwarelösung der Firma Simufact gelöst werden. Auf Basis des simulierten Verzugs des Bauteils wurde die Geometrie negativ vorverformt, um Formabweichungen zu minimieren. Es zeigt sich, dass der Verzug des Light-

Hinge+ durch die Prozesssimulation bis zur geforderten Toleranz erreicht ist. Durch dieses Vorgehen konnten teure und zeitintensive Fertigungsversuche vermieden werden. Bereits ab dem ersten Fertigungslos können die Bauteile innerhalb der geforderten Toleranz liegen.

Die Umsetzung der Konstruktion und Simulation wurden im voestalpine Additive Manufacturing Center auf Basis der verfügbaren Materialien und Maschinenparameter zeitnah im Bauprozess umgesetzt. Durch deren Optimierung konnten jeweils vier vollständige Motorhaubenscharniere in einem Baulos hergestellt werden. Das anschließende Entfernen der Stützstrukturen unter Prototypenbedingungen erfolgte zunächst noch manuell, der automatisierte Prozess ist in Vorbereitung.

Jens Christoffel  
Teamleiter Product Development  
& Manufacturing

Dr.-Ing. Eric Klemp  
Geschäftsführer  
voestalpine Additive Manufacturing GmbH  
Düsseldorf  
[www.voestalpine.com](http://www.voestalpine.com)

# Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten...

TOBIAS STITTGEN

Während in der Vergangenheit vor allem Prototypen und Kleinstserien im Fokus additiver Fertigungstechnologien standen, werden mit zunehmender Technologieadaption und kontinuierlicher Verbesserung der Anlagen-Produktivität – unter anderem im Umfeld der Automobilfertigung – auch Serienbauteile mit Stückzahlen jenseits der Grenze von 10.000 Teilen pro Jahr wirtschaftlich interessant.

Bilder: ACAM



Laserstrahlschmelzen (L-PBF).

Damit Entscheider in Produktion und Einkauf, aber auch bereits in der Produktentwicklung eine wirtschaftliche Betrachtung additiver Fertigungsrou-ten, vor allem im unmittelbaren Vergleich mit konventionellen Herstellverfahren (Gießen, Fräsen, Schmieden) durchführen können, ist eine fundierte, belastbare Berechnung der Fertigungskosten erforderlich.

## **Berechnung der Wirtschaftlichkeit**

Etablierte Kostenmodelle aus der konventionellen Fertigung erfüllen diese

Kriterien heute nur unzureichend, da sich das Herstellverfahren u.a. durch den schichtweisen Aufbau grundlegend von anderen Verfahren unterscheidet. Um einen Vergleich konventionell vs. additiv durchzuführen und als Entscheidungsgrundlage zu nutzen, muss die Berechnung ganzheitlich entlang der Prozesskette der Additiven Fertigung durchgeführt werden.

In der Literatur existieren verschiedene Ansätze zur Berechnung der Herstellkosten 3D-gedruckter Bauteile, die

jeweils verschiedene Schwerpunkte haben und relevante Einflussfaktoren entlang der Prozesskette relativ heterogen bewerten. Aufgrund der nach wie vor geringen durchschnittlichen Aufbauraten verschiedener 3D-Druckverfahren werden die Kosten maßgeblich durch die Herstellzeit beeinflusst. Dem eigentlichen Fertigungsprozess vor- und nachgelagerte Schritte, wie etwa die konstruktive Auslegung der Bauteile oder deren anschließende Wärmebehandlung, fallen hingegen weniger ins Gewicht, wenngleich auch sie



Prozesskette der Additiven Fertigung.

in einem ganzheitlichen Ansatz berücksichtigt werden müssen. Eine hohe Vorhersagegenauigkeit der Herstellzeit ist also die Voraussetzung für eine exakte Berechnung der Herstellkosten.

Die oben erwähnten Ansätze ähneln sich darin, dass basierend auf Bauteil-Charakteristika, wie dem zu erzeugenden Volumen, die erforderliche Herstellzeit lediglich mittels mathematischer Modelle bzw. Heuristiken geschätzt wird. Da hierbei die spezifische Geometrie, beispielsweise in Form einer filigranen Gitterstruktur, nicht berücksichtigt wird, sind Abweichungen von mehr als 50 Prozent in der Vorhersagegenauigkeit die Konsequenz.

**Ermittlung von Berechnungsroutinen**

Aktuelle Untersuchungen im Umfeld verschiedener Forschungspartner des ACAM Aachen Center for Additive Manufacturing GmbH haben daher die Entwicklung und Erprobung neuer Ansätze zur exakten Berechnung der Herstellzeit zum Ziel. Im Bereich des Laserstrahlschmelzens (L-PBF) wird in einem gemeinschaftlichen Vorhaben am Fraunhofer Institut für Lasertechnik (ILT) und dem RWTH Aachen Lehrstuhl Digital Additive Production (DAP) der Ansatz verfolgt, die Prozesszeit über eine der eigentlichen Datenaufbereitung vorgelagerte Berechnungsroutine zu bestimmen, welche werkstoff- und anlagenabhängig die spätere Bahnplanung simuliert. Die aus dieser Simulation resultierenden Bauteil-Einzelschichten (inkl. der Vektoren zur Ansteuerung des Scan-Systems) werden zur Berechnung der Prozesszeit herangezogen.

Erste Validierungen der Simulationsvorhersagen auf verschiedenen kommerziell verfügbaren Anlagen haben hinsichtlich der Herstellzeit Abweichungen im niedrigen einstelligen Prozentbereich ergeben. Da alle additiven Fertigungsverfahren durch einen schichtweisen Aufbau gekennzeichnet sind, lässt sich der beschriebene Ansatz auch auf Technologien wie beispielsweise das Laserauftragschweißen (LMD) übertragen und ermöglicht somit einen unkomplizierten Vergleich verschiedener in Frage kommender additiver Fertigungsverfahren.

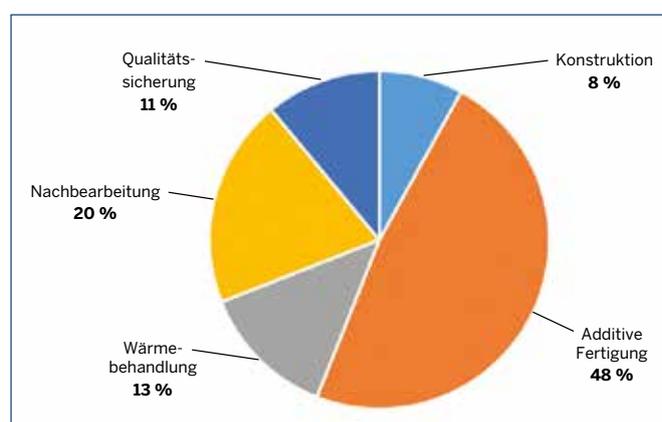
Um letztlich die tatsächlichen Herstellkosten zu bestimmen, wird die berechnete Herstellzeit mit dem jeweiligen Maschinenstundensatz multipliziert. Darüber hinaus müssen Rohmaterial-, Energie- und Schutzgasbedarf für den Herstellprozess addiert werden. Hierfür stehen Erfahrungswerte zur Verfügung.

Da insbesondere im Bereich des metallischen 3D-Drucks nach dem Herstell-

prozess typischerweise Schritte wie Wärmebehandlung, Zerspanen und eine ausführliche Qualitätssicherung folgen, muss das Berechnungsmodell entsprechend erweitert werden. Durch das einzigartige Engineering-Portfolio und Know-how am Campus der RWTH Aachen erfolgen diese Ergänzungen in enger Zusammenarbeit mit den Experten aus den jeweiligen Fachgebieten.

So entsteht ein robustes, ganzheitliches Berechnungsmodell, das industrie- und verfahrensübergreifenden Anforderungen standhält und als Entscheidungsgrundlage für Einkäufer, Produktionsplaner aber auch Konstruktionsingenieure genutzt werden kann.

Tobias Stittgen  
Senior Advisor Sales and Technology  
ACAM Aachen Center for Additive  
Manufacturing GmbH  
Aachen  
acam.rwth-campus.com



Exemplarischer Cost-Split für die Additive Fertigung eines Bauteils aus der Aluminiumlegierung AlSi10Mg.

# Im Land der unbegrenzten (Design-)Möglichkeiten

ANKE THEIBEN

Mit der Hilfe von 3D-Scannern können auch anspruchsvolle Objekte von der physischen in die digitale Welt übertragen werden. Einmal digitalisiert, stellen selbst Anpassungen, Änderungen und Rückkonstruktionen – das sogenannte Reverse Engineering – kein Hindernis dar.

Fotos: Murtfeldt



Die neue Halterung wird probeweise installiert, um das Notarzteinsatzfahrzeug mit Funk- und Kommunikationstechnik nachzurüsten.

Das Design ist bei der Additiven Fertigung keinen bzw. nur sehr geringen Einschränkungen ausgesetzt. Tatsächlich ist eher die für konventionelle Fertigungen bewährte Herangehensweise des Konstrukteurs ein Limit beim Entwurf von Bauteilen. Hier muss noch ein großes Umdenken bei den Konstrukteuren stattfinden: Denn Bauteile müssen künftig in Funktionen gedacht und entwickelt werden und nicht mehr unter dem Aspekt der Kostenbetrachtung.

Das bedeutet einerseits eine hohe Freiheit für die Konstrukteure – Stichwort „Freedom of Design“ – andererseits

auch eine immense Verantwortung. Denn die Verantwortung für die Produktion geht nun auf den Konstrukteur über. Was mit einem CAD-Programm entwickelt wird, wird so auch produziert. Reverse Engineering kann hier zumindest bei einigen Anforderungen ein guter Helfer sein, wie am folgenden Anwendungsbeispiel deutlich wird.

Die Comtec GmbH, ein Telekommunikationsdienstleister mit Sitz in Dortmund, erhält den Auftrag, einen Pkw für den Einsatz als Notarzteinsatzfahrzeug (NEF) mit Funk- und Kommunikationstechnik auszurüsten. Die hierfür notwendige Technik kann dabei nicht

über das vorhandene Bordsystem eingebunden werden, da weder Funktionalität noch Sicherheit gewährleistet werden können. Die geringen Platzreserven im Wagen und die fehlenden Konstruktionsdaten für die Befestigung der notwendigen Bausteine (Touchscreen-Monitor, Bedienpanel für die Blaulichtanlage sowie eine Funkein- und ausschaltung) stellen eine besondere Herausforderung dar.

## Reverse Engineering mittels 3D-Scan

Comtec wählt Murtfeldt Kunststoffe GmbH & Co. KG als Partner, da der Dortmunder Kunststoffhersteller und

-verarbeiter dank Reverse Engineering eine Vorrichtung mittels 3D-Scan herstellen kann – und das trotz mangelnder Konstruktionsdaten. Mit dieser kann der Monitor sowie das Bedienpanel einfach, schnell und sicher im NEF befestigt werden unter Berücksichtigung folgender Zielvorgabe: ein fester und guter Halt kombiniert mit einer sehr guten Bedienbarkeit, die auch in hektischen Momenten gegeben sein muss.

Darüber hinaus hat der Kunststoff-Zerspaner hat schon vor einigen Jahren seine Konstruktion um den 3D-Druck erweitert und kann alles aus einer Hand anbieten – neben dem Reverse Engineering beispielsweise die Konstruktion, die Auswahl der Materialien, die Herstellung etc.

Der Kunde von Comtec stellt den Monitor und das Funktionstastenpanel zur Verfügung. Murtfeldt setzt EVA ein, einen 3D-Handscanner aus dem Hause Artec, mit dem sowohl der Monitor, das Bedienpanel als auch das Cockpit des Pkw nacheinander gescannt wer-

den. Bei diesem Reverse Engineering werden die zur Fertigung notwendigen Eckdaten über den Scan der Umgebung ermittelt.

### **3D-Gerüst liefert Geometrien für Nachkonstruktion**

Der Scanvorgang liefert ein 3D-Gerüst, mit dessen Hilfe die Geometrien der einzelnen Objekte im CAD-System nachkonstruiert werden können – und das in einer Maßgenauigkeit, die keine manuellen (Nach-) Messungen mehr erforderlich macht. Anhand dieser Daten werden dann im nächsten Schritt die vereinzelt betrachteten Elemente Monitorhalter, Rahmen für Bedienpanel und Befestigungsflansch zum Pkw-Cockpit konstruiert.

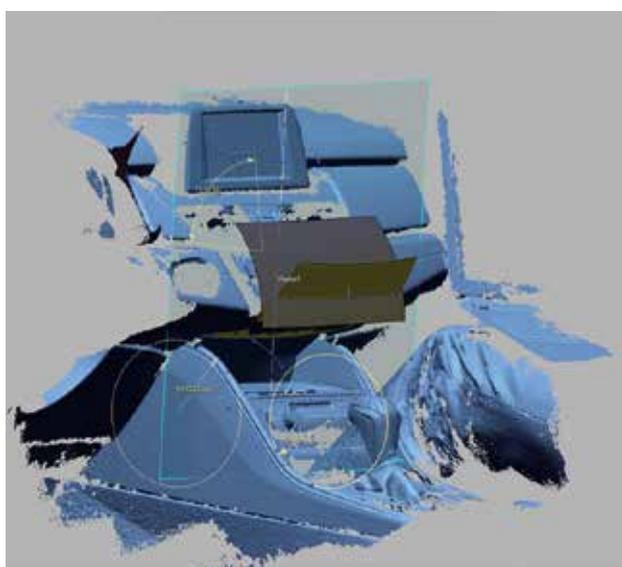
Mit den hochauflösenden Daten und genauen Maßen lassen sich die Passgenauigkeiten der zu verbauenden Elemente, wie beispielsweise des Monitors zur entsprechenden (Monitor-) Halterung, exakt bestimmen bzw. vorgeben, sodass ein sicherer Halt der Bedienelemente und eine robuste Einbringung in das Pkw-Cockpit auch bei

„ruppigem“ Einsatz des Notarzwagens gewährleistet werden kann.

### **Leichtbaustrukturen und integrierte mechanische Funktionen reduzieren Kosten und Aufwand**

Der Konstrukteur entwickelt auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse, Daten und Kennwerte das Endprodukt. Dabei hat er immer den Nutzen und die Funktionalität des Bauteils im Fokus. Die CAD-Datei bildet dabei die Grundlage für die Produktion im 3D-Druck. Über Leichtbaustrukturen, wie Wabenstrukturen im Inneren des Bauteils, kann das Gewicht der Halterung und des Panels um bis zu 75 Prozent reduziert werden. Auch können Innenkanäle, wie zum Beispiel für eine integrierte Medienführung, ohne zusätzliche Kosten eingebracht werden. Zusätzliche mechanische Funktionen, wie Gelenke und Schnapphaken, machen weitere Komponenten innerhalb der Halterung überflüssig und erleichtern so die Montage im Fahrzeug.

Innerhalb weniger Tage ist das Bauteil dann einsatzbereit – was in konventionellen Fertigungsverfahren bei „Losgröße Eins“ so nicht möglich gewesen wäre. Comtec erhält von Murtfeldt eine fertige Lösung und kann das Bauteil mit der dafür vorgesehenen Technik ausstatten und dank der Passgenauigkeit ohne weitere Hilfestellung direkt im PKW integrieren.



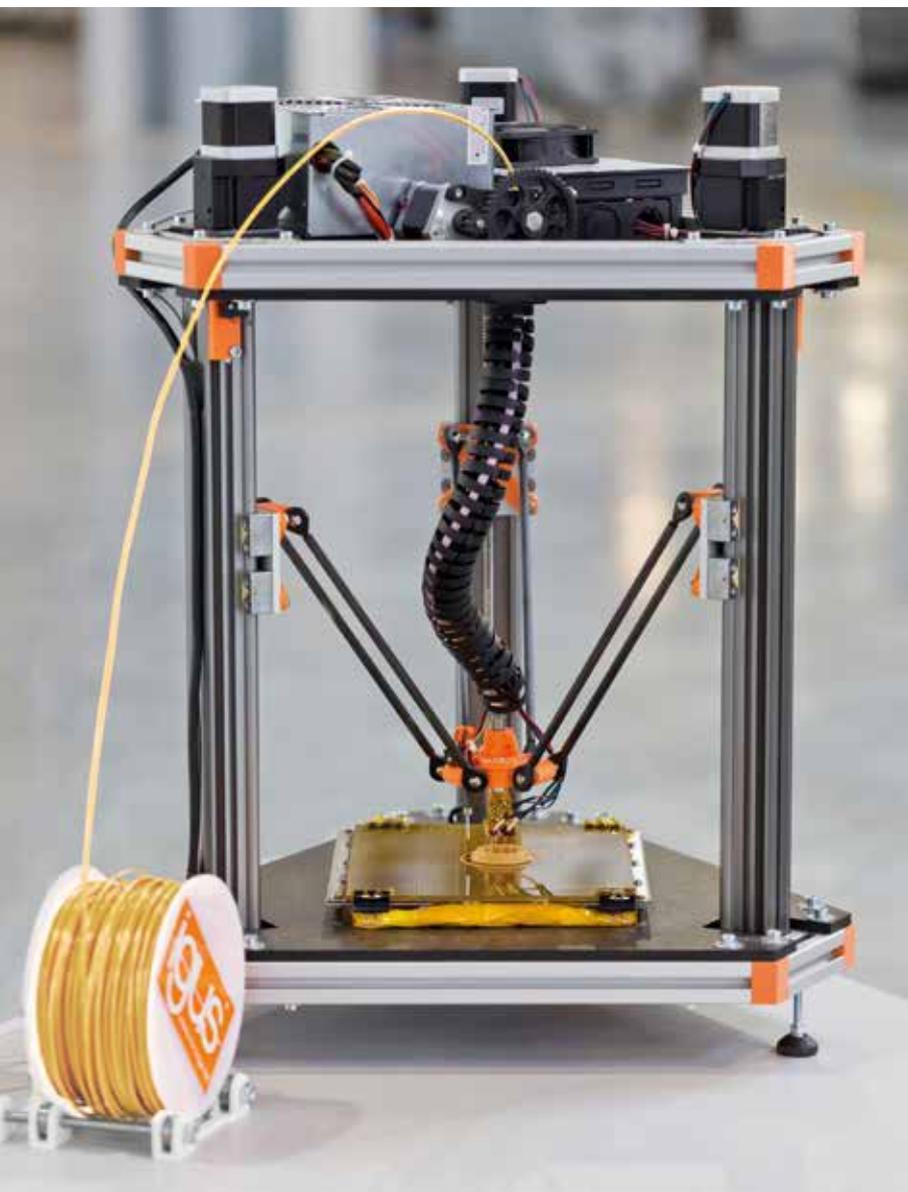
Herangehensweise nach dem sogenannten Reverse Engineering: Mittels 3D-Scan werden die Geometrien von Monitor, Bedienpanel und Pkw-Cockpit erfasst und für die Konstruktion der Halterung nutzbar gemacht.

.....  
 Anke Theißen  
 Leiterin Öffentlichkeitsarbeit  
 Murtfeldt Kunststoffe GmbH & Co. KG  
 Dortmund  
[www.murtfeldt.de](http://www.murtfeldt.de)  
 .....

# Wartungsfreie Verschleißteile aus dem 3D-Drucker

GERHARD BAUS

Der Motion-Plastics-Anbieter igus GmbH bietet seinen Kunden schmiermittel- und wartungsfreie Verschleißteile aus Hochleistungskunststoffen. Individuelle Bauteile können dabei innerhalb kurzer Zeit im 3D-Kunststoffdruck hergestellt werden.



Fotos: igus

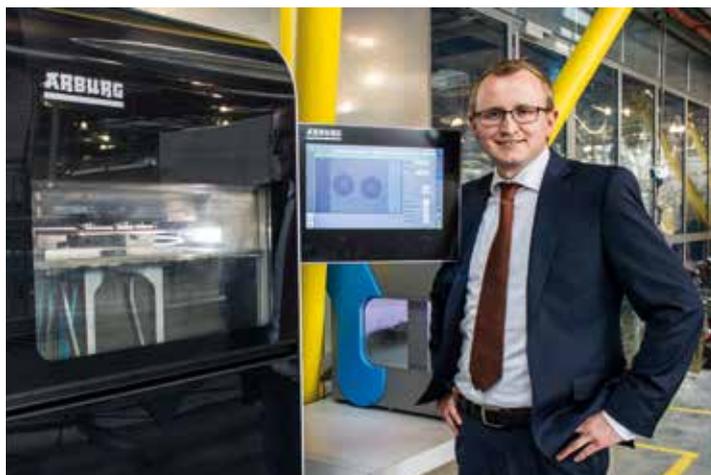
Im Fokus stehen Verschleißteile wie Zahnräder oder Gleitlager, die hohen Anforderungen in bewegten Anwendungen standhalten sollen. Kunden von igus haben die Möglichkeit, das passende schmiermittelfreie Material als Filament zu bestellen und können dann die benötigten Teile mit dem eigenen 3D-Drucker selbst herstellen. Wer keinen 3D-Drucker besitzt, der kann die Fertigung beim Kölner Unternehmen online in Auftrag geben. Der 3D-Druckservice startet mit der Produktion in der Regel noch am selben Tag.

Großen Wert legt man auf die Qualität von Komponenten, die in Bewegung sind und daher Reibung und Verschleiß ausgesetzt sind: „Unabhängig davon, ob zu Hause oder bei uns gedruckt wird: Mit unseren Tribo-Filamenten oder den SLS-Pulvern sind diese additiv gefertigten Teile deutlich verschleißfester als diejenigen aus Standardmaterialien wie beispielsweise dem synthetischen Polymer Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS). Vor allem Kunden, die einen schnellen, einfachen und langlebigen Ersatz benötigen, Prototypen oder Kleinserien von bewegten Teilen fertigen wollen, treten daher gerne an uns heran“, erklärt Tom Krause, Leiter des Geschäftsbereiches Additive Fertigung bei igus.

## Teile mit langer Lebensdauer

Alle gedruckten Teile werden entweder im FDM- oder im SLS-Verfahren hergestellt. Für das FDM-Verfahren werden

Die Additive Fertigung ermöglicht es, individuelle Verschleißteile kostengünstig herzustellen.



Für das FDM-Verfahren nutzen Tom Krause und sein Team den Freeformer von Arburg. Parallel dazu investieren die Kölner stark in den Ausbau der SLS-Druck-Kapazitäten.

sieben verschiedene Filamente angeboten, die sich durch ihre spezifischen Eigenschaften auszeichnen. „Wir haben beispielsweise einen Werkstoff im Programm, der sich speziell für Hochtemperaturanwendungen eignet. Ein anderer ist für den Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen“, sagt Krause.

Die Hochleistungskunststoffe entwickelt die Firma selbst. Zusätzlich dazu lassen sich mit dem SLS-Verfahren auch höchst komplexe Sonderteile in größerer Menge schnell fertigen. Dabei wird mit zwei verschiedenen Materialien gearbeitet: Das Lasersintermaterial iglidur I3 ist ein Pulver, das für sehr niedrigen Reibwert und eine hohe Abriebfestigkeit in der gedruckten Komponente sorgt. Mit dem Lasersintermaterial iglidur I6 hingegen hat der Motion-Plastics-Anbieter ein Material speziell für den Druck von Zahnrädern entwickelt.

„Seine hohe Verschleißfestigkeit und seine lange Lebensdauer konnten wir in Versuchsreihen in unserem haus-eigenen 2.750 Quadratmeter großen Testlabor untermauern. Dort haben wir iglidur I6 gegen andere Standardwerkstoffe antreten lassen“, betont der Leiter des Geschäftsbereichs Additive Fertigung. Im Vergleich zu den bisher gängigen Materialien für den SLS-Druck wurde ein Schneckenrad mit 5 Nm Dreh-

moment und 12 U/min getestet. Dabei blieb das Zahnrad aus dem Standard-Lasersintermaterial PA12 bereits nach 521 Zyklen stehen, da der Reibwert so hoch angestiegen war. Das Zahnrad aus dem neuen Lasersintermaterial hingegen hatte nach einer Million Zyklen lediglich einen geringen Verschleiß und war noch voll funktionsfähig. Gefräste Zahnräder aus POM waren bereits nach 621.000 Zyklen total verschlissen. „Das zeigt, dass das Material hochbelastbar und sehr langlebig ist“, so Krause.

### Vorzüge der Additiven Fertigung

Je nach dem Grad der Individualisierung, der Werkstoffauswahl oder der Stückzahl bietet igus unterschiedliche Fertigungsmethoden an. Dabei ist das Additive Manufacturing integraler Bestandteil der Fertigung, sei es für den direkten 3D-Druck oder die Produktion von Werkzeugformen für Spritzgussmaschinen. Im Prinzip kann jedes Bauteil hergestellt werden, das eine minimale Wandstärke von 0,5 bis 0,7 Millimeter besitzt, da dies bedingt durch den Laserdurchmesser die kleinste mögliche Wandstärke ist. „Wir nutzen den 3D-Druck auch selbst in der Entwicklung unserer eigenen Prototypen. Auch im Bereich der Lineartechnik können wir Schlitten und Traversen selbst drucken. Dadurch lassen sich schmiermittel- und wartungsfreie Lineartische günstig und besonders

schnell nach Kundenwunsch realisieren“, erklärt Krause. Wie bei anderen Herstellungsverfahren auch, sind die Bauteilkosten bei der Additiven Fertigung stark von der Anzahl der pro Stunde gefertigten Bauteile abhängig. „Bei kleineren Teilen kann die Additive Fertigung auch noch bei Stückzahlen von bis zu 10.000 Stück interessant sein. Bei sehr großen Bauteilen hingegen sind die Kosten dementsprechend höher. Aber auch hier kann die Additive Fertigung interessant sein, wenn die Komponenten nämlich mit anderen Verfahren nur sehr aufwändig oder gar nicht herstellbar sind“, gibt der Fachmann zu bedenken. Des Weiteren werde die Additive Fertigung vor allem dann gewählt, wenn es sehr schnell gehen müsse: zum Beispiel, wenn Teile noch am gleichen Tag benötigt würden oder wenn ein Maschinenstillstand drohe.

Gerhard Baus  
Prokurist New Businesses Development  
igus GmbH  
Köln  
[www.igus.de](http://www.igus.de)

# Eine staubige Angelegenheit – Vom Rapid Prototyping zur additiven Serienfertigung

JOHANNES LOHN

Neue Anforderungen an die Additive Fertigung bringen das „Direct Manufacturing“ und das „Direct Tooling“ mit sich. Die Protiq GmbH beschreibt die besonderen Herausforderungen an Anlagentechnik und Material für die Serienproduktion aus Anwendersicht.

Die Additive Fertigung bietet bereits heute viele neue Möglichkeiten. Über Nacht entstehen Handmuster, Prototypen und funktionale Elemente aus unterschiedlichen Materialien wie Kunststoff, Metall und auch Keramik. In der Vergangenheit wurde die Generative Fertigung hauptsächlich für das „Rapid Prototyping“ eingesetzt.

Beim „Direct Manufacturing“ sollen Endprodukte direkt und werkzeuglos additiv produziert werden. Das Produkt und dessen Anwendungsbereich definieren folglich die Anforderungen an Material und Fertigungstechnologie. Beispielsweise stellt die Elektronik-

branche hohe Anforderungen an die elektrischen Eigenschaften oder die Entflammbarkeit von Produkten.

Unter Total Cost of Ownership (TCO)-Gesichtspunkten lassen sich mit additiv gefertigten, verbesserten Werkzeugen die Herstellkosten der Endprodukte drastisch reduzieren. Diese Werkzeuge bzw. Spritzgießformen bieten das Potenzial, Gewicht einzusparen und Prozess- und Zykluszeit zu verkürzen. Bei der Fertigung von Umformwerkzeugen sind die mechanischen Kennwerte, wie Festigkeit, Duktilität oder Oberflächenhärte, von primärer Bedeutung.

## Serienproduktion mit Additiver Fertigung

Anforderungsgerechte Materialien sind erforderlich, um eine Serienproduktion mit Additiver Fertigung zu ermöglichen:

- Anwendungsbeispiele für die Additive Fertigung zeigen, dass die aktuell bestehende Materialauswahl für diese Anwendungen zumeist ungenügend ist. Die Qualifizierung neuer Werkstoffe mit maßgeschneiderten Eigenschaften ist eine grundlegende Voraussetzung für den zukünftigen, breiten und wirtschaftlichen Einsatz der Additiven Fertigung in der industriellen Produktion.
- Beim Kunststoff-Lasersintern wird ein Großteil der Produkte aus dem Basismaterial PA12, mit oder ohne Füllstoffe, aufgebaut. Allerdings werden in vielen Branchen technische Kunststoffe benötigt, die die Anforderungen an die Endprodukte erfüllen. Von besonders großer Bedeutung sind die Materialien Polyamid 6 (PA6), Polyamid 6.6 (PA6.6) oder Polybutylenterephthalat (PBT). Sehr stark verbreitet ist zudem der Standardkunststoff Polypropylen (PP). Die vorhandene Anlagentechnik wurde ursprünglich zur Herstellung von einzelnen Prototypen entwickelt und ermöglicht die Verarbeitung dieser technisch relevanten Kunststoffe meist nur bedingt. Aus Anwendersicht ist eine Weiterentwicklung der 3D-Drucktechnologien erforderlich, um die gestiegenen Anforderungen der direkten Produktion zu erfüllen.



Neue Materialien wie Kupfer, Messing, Zink und neue Werkzeugstähle für das Direct Tooling von high-performance Werkzeugen und das Direct Manufacturing von Endprodukten.

Fotos: Protiq

- Auch im metallischen Bereich ist die Materialpalette stark eingeschränkt. Bei leitfähigen Strukturen und Elementen sind Kupferlegierungen von großer Bedeutung. Hochleitfähiges Kupfer durch generative Verfahren zu verarbeiten, stellt allerdings eine besondere Herausforderung dar. Das rote Material reflektiert wie ein Spiegel die Wellenlänge des klassischen, roten Lasers, sodass die Laserenergie zum Großteil reflektiert wird und nicht, wie gewünscht, zum Verschmelzen des Materials führt.
- Abhilfe schaffen hier Prozessmodifikationen, durch die es heute schon vereinzelt möglich ist, auch hochleitfähiges Kupfer additiv zu verarbeiten. Dieser angepasste Laserschmelzprozess befähigt zudem die Verarbeitung von Zink und Messing. Während Zink beispielsweise als Ergänzung zu herkömmlichen Zinkdruckguss-Produktfamilien mit kleinen Stückzahlen eingesetzt werden kann, bietet die Verarbeitung von Messing neue Freiheitsgrade für die Schmuck- oder Armaturenindustrie.
- Große Potenziale bietet zudem die Verarbeitung von hochfesten Stählen. Technologisch sind hierzu höhere Prozesstemperaturen erforderlich. Gemeinsam mit renommierten Forschungsinstituten in NRW und Heizgeräteherstellern arbeitet Protiq hierzu bereits an neuen technischen Lösungen, sodass auch typische Werkzeugstähle, wie beispielsweise ein Warmarbeitsstahl vom Typ 1.2343, in naher Zukunft die Materialpalette ergänzen werden.

### „Hightech trifft Steinzeit“

Das Direct Manufacturing erfordert die Automatisierung und Verkettung der Anlagentechnik mit konventionellen Fertigungstechnologien:

- Der eigentliche Herstellungsprozess in der Additiven Fertigung ist weit entwickelt und läuft vollautomatisiert, allerdings bedürfen die vor- und nachgelagerten Prozesse meist



Durch das „Direct Tooling“ ist die Herstellung umformender Werkzeuge und konturnah gekühlter Werkzeugeinsätze mit gesteigerter Performance und im Leichtbaudesign möglich.

eines hohen manuellen Aufwands: Bauteile werden von Hand gereinigt und von anhaftendem Pulver befreit. Das Restpulver wird manuell aufgearbeitet, um es dem Prozess erneut zuzuführen. Selbst das Rüsten der Anlagen erfolgt manuell mit der Konsequenz, dass im Einschichtbetrieb teilweise keine optimale Anlagenauslastung realisierbar ist.

- Die Anlagen der neuesten Generation weisen Schnittstellen auf, wodurch sich hier eine zunehmende Automatisierung entlang der Prozesskette vom 3D-Datenhandling über die Arbeitsvorbereitung (Positionierung und Supportgenerierung), die Ver- und Nachbearbeitung bis zur Verpackung abzeichnet. Besonders die ungelösten Fragestellungen in der Automatisierungstechnik bieten heimischen Sondermaschinenbauern die Chance, den attraktiven Markt der Additiven Fertigung zu erschließen.

### Digitale Vernetzung entlang Wertschöpfungsprozesse

Erst die digitale Vernetzung entlang der vertikalen und horizontalen Wertschöpfungsprozesse ermöglicht eine schlanke, flexible Produktion von kundenindividuellen Serienprodukten.

Die Additive Fertigung ermöglicht eine Produktion innerhalb weniger Stunden. Die Geschwindigkeit sollte nicht durch langsame, konventionelle Bestellprozesse ausgebremst werden. Das digitale Datenhandling ist die Voraussetzung für die automatisierte, vertikale Integration – vom Kunden bis in die Fertigung.

Erste Internetplattformen verschlankten den Bestellprozess und ermöglichen zeitgleich die Verknüpfung mit etablierten SAP Systemen. Dies umfasst 3D-Modellanalysen inkl. 3D-Datenreparaturen, die Online-Preiskalkulation für die angebotenen Verfahren und Materialien inkl. Konfiguration, Skalierung und Nachbearbeitung, die Wahl des entsprechenden Logistik Services sowie des Zahlungsproviders bis hin zur Beauftragung der digitalen Warenkörbe.

Johannes Lohn  
Manager Entwicklung & Engineering

Dr. Ralf Gärtner  
Geschäftsführer  
Protiq GmbH  
Blomberg  
www.protiq.com

# Additive Fertigung von Einzelstücken und Kleinserien lohnt sich

ULRICH KLOSE

Die Systec GmbH fertigt und entwickelt Automatisierungssysteme und Sondermaschinen und hat aufbauend auf den eigenen Steuerungs- und Automationsprodukten eigene, voll industrietaugliche 3D-Drucker-Lösungen für das FFF/FDM-Verfahren entwickelt.



Fotos: Systec

Der großformatige Industrie-3D-Drucker verfügt über einen Arbeitsraum von 625 x 625 x 625 Millimetern.

beim Elektronik-Discounter gibt, ist das Angebot an skalierbaren, industrietauglichen Großraumdruckern überschaubar. Systec erkannte eine vielversprechende Marktnische und startete an diesem Punkt die Eigenentwicklung großer Industrie-3D-Drucker.

Gerade im industriellen Umfeld herrscht oft Bedarf an großen, im FDM- bzw. dem ähnlichen FFF-Verfahren gedruckten Teilen – ob für Sonderlösungen, als Produktmuster, für Entwicklungsteile oder auch für Kleinserien. FFF/FDM-3D-Druck mit kostengünstigen und vielseitigen Filamenten wie PLA oder ABS ist dann eine lohnende Alternative, wenn es nicht auf große Stückzahlen und hohe Produktionsgeschwindigkeiten ankommt.

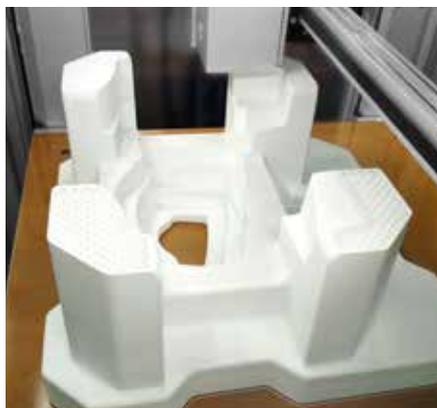
Während einer Produktentwicklung kommt es immer wieder vor, dass Musterteile gefertigt, getestet, verändert und wieder neu hergestellt werden müssen. So erging es Jochen Keuschnig, Produktentwickler bei Systec in Münster, vor einigen Jahren. Für ein Kunststoffgehäuse benötigte er große, individuell gestaltete Teile mit einer Kantenlänge von etwa 40 Zentimetern.

## Großformatige FFF/FDM-3D-Drucker für die Industrie

Die Fertigung im Spritzgussverfahren wäre in der Entwicklungsphase zu teuer gewesen. Die Additive Fertigung im kostengünstigen FDM-Verfahren erschien als effiziente Lösung. Doch Keuschnig fand zu seinem Erstaunen keinen Zulieferer. Während es FDM-3D-Drucker für kleine Teile mittlerweile

## Vorhandenes Know-how aus der Klebeautomation genutzt

Für die Entwicklung der 3D-Drucker nutzte man vorhandenes Know-how. Erfahrung in der Ansteuerung von Dosiersystemen hatte man bereits bei zahlreichen Klebeanwendungen gesammelt. Beim FFF/FDM-Verfahren wird Kunststoff-Filament im Hotend aufgeschmolzen und durch die Druckdüse ähnlich wie Heißkleber schicht-



Die Additive Fertigung dieser Transportlehre gestattet Produkteigenschaften, die mit einer Produktionsmethode wie Fräsen nicht möglich wären.

weise aufgetragen. Nach und nach entsteht ein dreidimensionales Objekt. Mit den einbaufertigen Positioniersystemen DriveSets, der Xemo-Positioniersteuerung, einem kompletten Fertigungszellenkonzept, einer NC-Softwarelösung zur Maschinenbedienung und reichlich maschinenbaulicher Erfahrung war Systec bestens gerüstet, um die 3D-Druck-Applikation in ein industrietaugliches Anlagenkonzept zu integrieren.

„Gerade beim FFF/FDM-3D-Druck im industriellen Maßstab kommt es auf präzise gesteuerte Bewegung und eine hochexakte, gleichmäßige Temperaturregelung an“, weiß Systec-3D-Druck-Berater Marcus Schwegmann zu berichten. In Kundengesprächen stellte er immer wieder fest, dass nicht der „eine“ komplett fertige 3D-Drucker verlangt wird. Stattdessen wünschen sich viele Kunden ein solides, flexibles Bewegungssystem mit einer beheizbaren Kabine, allen notwendigen industriellen Schnittstellen und einem nicht zu kleinen Bauraum. „Oft möchten unsere Kunden die eigentliche 3D-Druck-Technologie auch selbst integrieren“, verrät Schwegmann. Es sei häufig die große maschinenbauliche Expertise, die für die Kunden ausschlag-



Mit diesem Kunststoffgehäuseteil fing alles an. Weil kein passender Zulieferer gefunden wurde, baute die Systec einen eigenen FFF/FDM-3D-Drucker.

gebend sei. Geliefert würden solide, im Industriealltag voll belastbare Maschinenlösungen, die perfekt auf den Einsatz als 3D-Drucker vorbereitet seien.

So auch bei einem aktuellen Projekt. Ein Kunde suchte ein Basissystem, um einen eigenen Granulat-3D-Druckkopf zu entwickeln. Systec fertigte eine 3D-Druck-Zelle mit einem Kubikmeter Druckraum sowie der kompletten Bewegungs-, Steuerungs- und Sicherheitstechnik und bereitete sie auf die Integration des Extruders vor. Alles Weitere lag in der Verantwortung des Kunden. „Unsere 3D-Druck-Systeme sind eine offene Plattform. Unsere Kunden haben die volle Kontrolle und den kompletten Zugriff auf alle Systemkomponenten“, hebt Niederlassungsleiter Jan Leideman hervor.

#### **Additiv gefertigte Transportlehre spart 18 Kilogramm Gewicht**

Der Bedarf für kundenspezifische, großformatige 3D-Drucker ist da. Das zeigen viele der Anwendungsanfragen, die Marcus Schwegmann erreichen. Ein Kransystemhersteller benötigt für seine Intralogistik beispielsweise spezielle Transportlehren. Bislang wurden diese Teile, die nur wenige Nutzungs-

zyklen durchlaufen, aus massiven Kunststoffblöcken gefräst. Dies verursachte viel Abfall und entsprechend hohe Materialkosten. Mit der bei Systec erprobten Additiven Fertigung der Transportlehren mit dem Material „Colorfab XT White“ schaffte es der Kunde, allein das Gewicht der fertigen Komponente von über 25 auf etwa sieben Kilo zu reduzieren. Dabei dauerte ein Druck gute drei Tage. Das fiel aber nicht ins Gewicht, weil nur etwa zehn Teile im Jahr benötigt wurden. Ein weiterer Vorteil: Mit jedem neuen Druck konnten immer wieder Details verbessert werden. Beispielsweise erhielt die Transportlehre einen Tragegriff. Dies wäre bei gefrästen Teilen gar nicht möglich gewesen.

Seine maschinenbauliche Kompetenz im 3D-Drucker-Segment steuert das Unternehmen gemeinsam mit dem niederländischen Technologieentwickler Demcon auch für das Euregio-Projekt „Smart Production“ bei. Systec stellt hierbei dem Entwickler eines 3D-Druckkopfes für viskose Materialien eine 3D-Drucker-Basiszelle für die Integration seiner innovativen Technologie zur Verfügung. Ziel ist es, beispielsweise großformatige Dichtungslippen mit dem 3D-Drucker zu fertigen.

„Nicht zuletzt ist die eigene Produktion bei uns selbst flexibler geworden, seit 3D-Drucker im Haus stehen. Selten benötigte Abdeckkappen, spezielle Umhausungen für elektrische Verdrahtungen, Musterteile und vieles mehr werden mittlerweile schnell mal gedruckt“, freut sich Leideman.

Ulrich Klose  
 Marketing & PR  
 Systec GmbH  
 Münster  
[www.systec.de](http://www.systec.de)

# Keramikbauteile mit Licht drucken

IM GESPRÄCH MIT MICHAEL STEINBACH



Michael Steinbach,  
Leiter des Geschäftsbereichs  
Technical Ceramics.

Die Detmolder Steinbach AG produziert nach der additiven Fertigungsmethode LCM kleinste Keramikbauteile in höchster Präzision. Ein Gespräch mit Michael Steinbach, Leiter des Geschäftsbereichs Technical Ceramics.

## Das Geschäftsfeld Technische Keramik ist relativ neu bei Steinbach. Wie ist es dazu gekommen?

**Steinbach:** 2015 hatten wir nach einem zusätzlichen Geschäftsfeld gesucht. In einem Joint Venture in Taiwan produzierten wir bereits Präzisionsteile aus Keramik mit der Fräsmethode auf konventionelle Art. Von Kunden dort bekamen wir immer wieder Anfragen nach kleinen Losgrößen. Die ließen sich aber nicht wirtschaftlich herstellen. Wir haben uns dann überlegt, wie man das darstellen könnte und so sind wir auf den 3D-Druck für Keramik-Bauteile gekommen. Anfang 2016 sind wir gestartet.

## Wie funktioniert das Additive Verfahren, das Steinbach anwendet?

**Steinbach:** Wir wenden das LCM-Verfahren an. Die Abkürzung steht für Lithography-based Ceramic Manufacturing. Gedruckt wird mit einer Flüssigkeit, die unter anderem aus

Keramikpulver und einem Photopolymer besteht, einem lichtempfindlichen Kunststoff. In diesen zähflüssigen Schlicker taucht die Bauplattform von oben ein. Unterhalb der gläsernen Schlickerwanne befindet sich eine Belichtungseinheit, die UV-Licht ausstrahlt. Das Photopolymer reagiert mit dem Licht und härtet jede einzelne Schicht aus. Bei der Keramik passiert während dieses Prozesses noch nichts, lediglich der Kunststoff reagiert und vernetzt die Keramik. So bauen wir Schicht für Schicht, mehrere hundert oder tausend Schichten. Am Ende ist das Bauteil etwa 20 Prozent größer als benötigt. Nach dem Druck wird es gereinigt und thermisch behandelt. In einem Ofen wird der Kunststoff dann über mehrere Tage hinweg vorsichtig herausgebrannt. Dadurch verliert das Bauteil wieder ca. 20 Prozent an Größe. Anschließend wird es bei 1600 Grad gesintert, um das Keramikteil zu festigen. Der Druckprozess

funktioniert allein mit Licht. Durch das Belichten härtet die Flüssigkeit aus und bildet den Körper.

## Welchen Markt haben Sie mit den gedruckten Keramikbauteilen im Blick?

**Steinbach:** Wir bedienen Märkte, denen bis jetzt die Eigenschaften der Keramik immer verwehrt gewesen sind und wo bislang andere Materialien eingesetzt werden, die aber im Gegensatz zu Keramik schnell verschleifen und ersetzt werden müssen.

Zum Beispiel in der Medizintechnik, der Analysetechnik oder der Sensorik. Dort werden Geräte nicht in Millionenstückzahlen gebaut, es geht mehr um einige tausend Stück. Infolgedessen braucht man dazu auch nur einige tausend Keramikbauteile. Das ist dann der Weltmarkt. Und hier können wir die Produkte mit unserer 3D-Methode günstiger und besser anbieten.

Additive Fertigung ermöglicht feinste Strukturen, wie hier anhand einer Spule zu sehen ist.



### Was sind das für Produkte?

**Steinbach:** Wir sind auf sehr kleine Bauteile spezialisiert, auf Mikro-Teile. Das sind zum Beispiel Teile für medizinische Apparaturen. Auch der Maschinenbau fragt unsere Produkte nach. Da sind wir häufig in Kleinserien oder Einzelteilprodukten unterwegs. Wo früher Kunststoff- oder Metallteile eingesetzt wurden, die man wegen der hohen Umgebungstemperaturen aber häufig auswechseln musste, da lohnte sich Keramik bislang nicht, weil es nur geringe Stückzahlen waren. Das ist nun anders. Mit gedruckten Keramikteilen ist man wirtschaftlich effizient. Man hat keinen Verschleiß mehr.

### Wie sieht es mit der Konkurrenz aus?

**Steinbach:** In der Keramik ist der Markt für Additive Fertigung sehr überschaubar, deshalb haben wir uns ja auch dafür entschieden. Es gibt in ganz Europa nur eine Handvoll Adressen, die dieselbe Dienstleistung anbieten wie wir. Die meisten, die solche Drucksysteme verwenden, sind Forschungseinrichtungen. Aber der Markt wächst. Vor drei Jahren waren auf der Keramik-Leitmesse Ceramitec höchstens zwei oder drei Anbieter, die keramischen 3D-Druck betrieben haben. In diesem Jahr waren es erheblich mehr Anbieter.

### Sie sagten, mit 3D-Druck können Sie Bauteile in kleinen Losgrößen wirtschaftlich herstellen. Welche Vorteile bietet das Verfahren noch?

**Steinbach:** Man kann innenliegende Geometrien herstellen. Konventionell müsste man dazu mehrere Teile fertigen und anschließend zusammensetzen. Es gibt außerdem eine große Zeit- und Kostenersparnis, weil man für die Produktion von Teilen keine Werkzeuge mehr herstellen muss. Werkzeuge, die

sich im Laufe der Zeit abnutzen. Da wir nahezu keinen Produktionsabfall produzieren, fällt auch die Umweltbilanz deutlich besser aus. Weiterer Vorteil: Man kann mehr ausprobieren. Man kann die Bauteile so herstellen lassen, wie man sie braucht. Vorher musste man immer auf Standardbauteile zurückgreifen.

### Gibt es auch Nachteile?

**Steinbach:** Ich würde sagen, es gibt Grenzen, heute zumindest noch. Ein Problem sind die Wandstärken. Wir sind momentan bei einer maximalen Wandstärke von vier Millimetern, bald können wir aber auch acht Millimeter dicke Wände produzieren. Bei noch dickeren Bauteilwänden funktioniert der Entbinderungsprozess nicht mehr, also die Trennung des Kunststoffs von der Keramik. Denn je dicker die Wand ist, desto länger ist der Weg, den der Kunststoff zum Austreten braucht. Da besteht die Gefahr, dass er das Bauteil zerstört. Irgendwann wird man auch dafür eine Lösung finden und dickere Bauteilwände herstellen können, aber heute sind nur Wanddicken bis vier Millimeter risikofrei herstellbar.

### Werden additive Fertigungsverfahren die konventionellen über kurz oder lang ersetzen?

**Steinbach:** Die Entwicklung kommt in diesem Bereich sehr schnell voran. Als wir uns 2015 erstmals mit dem Thema beschäftigt haben, kamen wir sehr schnell zu dem Schluss, dass es sich hierbei nicht um einen Hype handelt, der nach einer Weile wieder nachlassen wird. Wir waren damals schon überzeugt, dass Additive Fertigung ein Teil der Produktion von morgen sein wird. Sie wird konventionelle Produktionsverfahren nicht ersetzen, sondern ergänzen. Man verdrängt keine bestehenden Systeme, sondern man kann zusätzliche Problemlösungen anbieten und damit auch neue Märkte aufbauen. Unser maßgeblicher Antrieb war es, am Anfang Know-how aufzubauen und damit eine neue Industrie mitzuprägen. Es war und ist sehr spannend für uns, schon ganz am Anfang daran mitzuwirken.

.....  
www.steinbach-ag.de  
.....

Fotos: Steinbach



Komplexe Geometrien für verschiedene Anwendungen: Gastauscher, Fluidreaktor, Düse.

# Ganzheitliche Prozesskette als Schlüssel zum Erfolg

RINJE BRANDIS

Additive Manufacturing bietet heute vielfältige Potenziale für innovative Lösungen. Der Schlüssel zum erfolgreichen Einsatz der Technologie liegt in der ganzheitlichen Betrachtung der Prozesskette, wobei alle Schritte vom Design bis zur Endbearbeitung aufeinander abgestimmt sein müssen. Im vorliegenden Beispiel wird dies an einem realen Praxisfall deutlich.

Bilder: DMG Mori



Ganzheitliche Betrachtung der Prozesskette der AM-Produktentstehung.

Die Technologien des Additive Manufacturing (AM) für metallische Werkstoffe haben bereits heute den notwendigen Reifegrad erreicht, um im Maschinen- und Anlagenbau sinnvoll eingesetzt zu werden. Die Vorteile liegen auf der Hand: komplexe Bauteile, kleine Stückzahlen und eine schnelle Reaktionsfähigkeit bieten große Chancen für innovative Lösungen. Die Hemmnisse für ihren Einsatz finden sich jedoch häufig im fehlenden technologischen Wissen sowie dem fehlenden Vertrauen in die „gedruckten“ Bau-

teile. Weiterhin werden die Drucksysteme als Solitärsystem verstanden und oftmals nur unzureichend in die Gesamtprozesse der industriellen Produktion integriert.

Die DMG Mori Academy GmbH unterstützt neben externen Kunden auch die konzerneigenen DMG Mori Produktionswerke bei der Einführung und Anwendung von Additive Manufacturing. Der Fokus liegt auf einer ganzheitlichen Betrachtung des Produktentstehungsprozesses – von der ersten Idee bis

zum endbearbeiteten Serienbauteil. In der ganzheitlichen Betrachtung und der Verkettung von Design, additivem Bauprozess sowie der finalen CNC-Bearbeitung liegt ein Schlüssel für die erfolgreiche Technologieanwendung.

## Potenziale der Additiven Fertigung

Ein sehr gutes Beispiel zur Verdeutlichung der Potenziale der additiven Fertigungstechnologien ist die Ringdüse eines ULTRASONIC 60 eVo Bearbeitungszentrums von Sauer GmbH, einem Tochterunternehmen von DMG Mori.

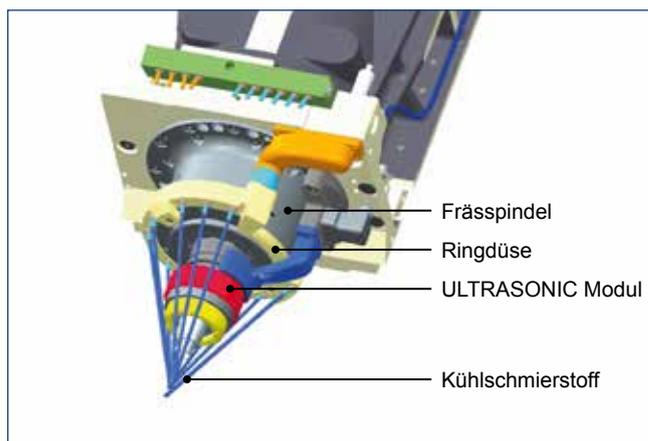
Die ULTRASONIC-Technologie ermöglicht die effiziente Schleif-, Fräs- und Bohrbearbeitung von hartspröden Advanced Materials, schwer zerspanbaren Superlegierungen und Faserverbundstoffen. Über eine ULTRASONIC-Aufnahme wird die rotatorische Bewegung mit einer Oszillation in longitudinaler Richtung überlagert. Im konkreten Fall spielte der Abtransport der Späne aus dem Zerspanbereich und die Abfuhr der auftretenden Prozesswärme eine zentrale Rolle. Die konventionelle Kühlschmierstoff-Zufuhr stieß hierbei an ihre Grenzen. Eine neue Lösung wurde benötigt.

Der eingesetzte Kühlschmierstoff sollte in einem sehr flachen Winkel zur Spindelachse direkt und möglichst im gesamten Umfang des Werkzeugs in den Späneingriffsbereich eingespritzt werden. Eine konventionelle Lösung war aufgrund der Störkontur durch das ULTRASONIC-Modul nur sehr schwer realisierbar. Das zu bearbeitende Bauteilspektrum schränkte die Größe und Form einer neuen Düse deutlich ein und machte eine kompakte Bauweise erforderlich.

Weitere Anforderungen ergaben sich bei der genauen Betrachtung des Gesamtprozesses. Die weit verbreitete händische Nacharbeit der gedruckten Bauteile schied somit aus. Nur mit einem durchgängigen und stabilen Produktionsprozess vom Druck bis zur zerspanenden Nacharbeit können Bauteile stabil, sicher und effizient hergestellt werden. Dies gilt auch für Kleinserien mit weniger als 100 Stück pro Jahr.

### Lösungskonzept mit Additive Manufacturing

Das Funktionskonzept sieht ein ringförmiges Bauteil mit Düsen auf dem Umfang vor. Die Düsen werden durch einen Kanal im Inneren des Bauteils mit Kühlschmierstoff versorgt. Im Bereich des ULTRASONIC-Moduls ist eine



Ringdüse im Einsatz bei einem ULTRASONIC-System der Firma Sauer.

sogenannte Brücke integriert, die über einen innenliegenden Kanal den Hauptkanal schließt. Somit wird eine gleichmäßige Druckverteilung an den einzelnen Düsen sichergestellt. Die Anbindung erfolgt über die beiden Montagestege stirnseitig in die Frässpindel.

Das Design folgt der Funktion und dem Gesamtprozess. Zunächst wird die Baurichtung des Bauteils festgelegt und dieses entsprechend ausgelegt. Für eine saubere Trennung des Bauteils im nachgelagerten Sägeprozess wird es plan auf der Bauplatte aufgebaut. Dementsprechend sind die inneren Kanäle mit einer gewölbten Dachstruktur versehen, um zu verhindern, dass sie mit Stützstrukturen verbaut werden. Diese sogenannten Supports werden als sehr filigranen Gitterstrukturen aus demselben Grundwerkstoff aufgebaut und ermöglichen die Abführung der Prozesswärme aus überhängenden Geometrien. Zur Reduzierung des Bauteilgewichts werden die massiven Bereiche des Bauteils durch innenliegende Wabenstrukturen ersetzt. Die Wandstärkeauslegung orientiert sich maßgeblich an den auftretenden Kräften des Spannfutters für die finale Dreh-Fräs-Bearbeitung.

### End-to-End-Kompetenz

Der additive Bauprozess erfolgt auf einer LASERTEC 30 SLM. Das CAD-Modell des Bauteils wird dabei in einzelne Schichten zerlegt. Diese werden nacheinander aufgebaut, indem mit

einem Laser ein sehr feines Metallpulver aufgeschmolzen wird. Die anschließende spanende Endbearbeitung erfolgt auf einer CTX beta 800 TC von DMG Mori. Die Hauptspindel spannt das Bauteil zunächst von außen. Im ersten Arbeitsgang werden das Stützmaterial entfernt und die Passung am Zulauf eingebracht. Dabei wird die innere Mantelfläche ausgedreht, welche den späteren Sitz des Bauteils bildet. Das Bauteil wird anschließend vollautomatisiert an die Gegenspindel übergeben, die das Bauteil von innen spannt und die Fräsbearbeitung der Düsensitze ermöglicht. Somit ist eine prozessstabile 6-Seiten Komplettbearbeitung des Bauteils möglich.

Das Beispiel verdeutlicht sehr gut das Technologiepotenzial und die Notwendigkeit der ganzheitlichen Betrachtung im Produktentstehungsprozess. Im Maschinenbau ist die Hemmschwelle zum Einsatz solcher „gedruckten“ Funktionsbauteile derzeit noch hoch. Dies liegt häufig am fehlenden Vertrauen in belastete Bauteile, die aus einem Pulver hergestellt werden. Wie sich an diesem Beispiel zeigt, ist diese Skepsis unbegründet.

Dr.-Ing. Rinje Brandis  
Head of Consulting  
Additive Manufacturing  
DMG Mori Academy GmbH  
Bielefeld  
[www.dmgmori.com](http://www.dmgmori.com)

# Brücke zwischen Industrie und Forschung

CHRISTIAN LINDEMANN

Additive Fertigungsverfahren bieten den Unternehmen nicht nur in NRW erhebliche Potenziale für technologischen Fortschritt. Bisher hat die Technologie jedoch noch nicht den Einzug in die Produktionshallen der kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) gefunden. Dies liegt an den zahlreichen Herausforderungen, welche die Technologie noch zu meistern hat. Gründe hierfür liegen in fehlendem Konstruktionswissen, einer geringen Materialauswahl oder auch der fehlenden Ausbildung von Ingenieuren zur Beherrschung der Technologie.

Fotos: DMRC



Optimiertes und markiertes Strukturbauteil aus einem Satelliten, das um 50 Prozent gewichtsreduziert werden konnte.

Im Herzen von Ostwestfalen-Lippe, genauer gesagt an der Universität Paderborn, arbeiten derzeit 15 Professoren und 30 wissenschaftliche Mitarbeiter daran, die Technologie auch für den Mittelstand verfügbar zu machen. Im Jahre 2008 wurde hierfür an der Universität Paderborn das „Direct Manufacturing Research Center“ (DMRC) auf Initiative des Flugzeugherstellers Boeing gegründet. Mit derzeit 29 Industriepartnern entlang der gesamten Prozesskette werden seit nunmehr zehn Jahren Forschungsvorhaben initiiert. Die Schwerpunkte des Netzwerks sind Forschung, Innovation und Lehre. Themenstellungen sind z. B. die Erforschung von neuen Materialien für die

E-Mobilität oder auch für bio-resorbierbare Implantate für den menschlichen Körper.

Ab 2019 werden zudem maßgeschneiderte Materialien für die Industrie in NRW an der Universität Paderborn entwickelt. Hierfür stehen drei Produktionsanlagen für Metall- und Kunststoffpulver zur Verfügung. Gefördert wird das Vorhaben „iAMnrw – Materials“ durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE).

Der anhaltende Erfolg der deutschen Wirtschaft beruht auf den Mitarbeitern von morgen. Als eine der ersten Hochschulen in Deutschland bietet die Uni-

versität Paderborn seit zehn Jahren ein breites Spektrum an Lehrveranstaltungen zum Thema Additive Fertigung. Zur Weiterbildung der aktuellen Generation bietet das DMRC zahlreiche Fortbildungen und Industrieseminare. Das DMRC kooperiert unter anderem mit dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI) bei der Ausbildung zum „Fachingenieur Additive Fertigung VDI“. Zielsetzung des Qualifizierungslehrgangs ist es, den gesamten Prozess der Additiven Fertigung überblicken zu können: Von der Auswahl des Bauteils über die Entscheidung der Fertigungsart und die Konstruktion bis hin zur Implementierung der Additiven Fertigung im Unternehmen.

Inzwischen wurden bereits drei neue Startups von ehemaligen Mitarbeitern gegründet. Während das Unternehmen „AMendate GmbH“ zukünftige Produkte leichter und bionischer macht, sorgt die „Additive Marking – Produktionsintegrierte Kennzeichnung GbR“ dafür, dass die Fertigungsschritte von 3D-gedruckten Bauteilen durchgängig nachvollziehbar bleiben. Die „AMproved GmbH“ ist der erste Online-Fachmarkt für die Additive Fertigung und bietet pragmatische Lösungen für den industriellen Einsatz. Alle Startups zielen wie das DMRC auf die Industrialisierung der Technologie ab.

- AMendate entwickelt eine vollautomatische Topologie-Optimierungssoftware für die Additive Fertigung. Die Technologie berücksichtigt die Konstruktionsregeln der Additiven Fertigung und vereinfacht den Optimierungsprozess erheblich. Aus Anwendersicht entwickelt, erfüllt diese Software alle Anforderungen eines Ingenieurs. Eine hohe Auflösung garantiert detaillierte Strukturen, die spannungsorientierte Optimierung erzeugt bionisch geformte Geometrien mit homogener Spannungsverteilung. Ein automatischer und intelligenter Glättungsalgorithmus überträgt das Ergebnis effizient in direkt druckbare Geometrien. Diese automatische Rückführung in CAD-Modelle macht die Weiterverarbeitung des Ergebnisses mit zusätzlicher, spezieller Software hinfällig. Mit AMendate erhält der Konstrukteur innerhalb kürzester Zeit ein fehlerfreies, druckbares Bauteil, das alle Anforderungen erfüllt.
- Additive Marking adressiert die Herausforderung, additiv gefertigte Bauteile über den gesamten Produktlebenszyklus rückverfolgbar zu kennzeichnen. So lässt sich die beispiels-



Schrittweiser Übergang von einem massiven Grundkörper zu einer optimalen Leichtbaustruktur eines Radträgers.

weise durch Blockchain-Technologien gesicherte digitale Prozesskette mit der physischen Welt verknüpfen. Interessant ist dies für Ersatzteile, die bisher im Spritzguss o. ä. gefertigt wurden und die eine Markierung durch die Spritzgussform erhalten haben. Diese werden zunehmend nach Verschleiß der Formen bei schwindender Nachfrage bedarfsgerecht im 3D-Druck hergestellt. Aber auch in der Forschung und Entwicklung sollten beispielsweise Prüfkörper klar zur Positionierung und Orientierung in der additiven Fertigungsanlage zuzuordnen sein. Für sicherheitskritische Bauteile beispielsweise in der Luft- und Raumfahrt, für medizinische Anwendungen oder im Automobilbau ist die Notwendigkeit einer Markierung zur Rückverfolgbarkeit selbstverständlich.

- AMproved ist der Ansprechpartner für alle Betreiber additiver Fertigungstechnologien. Der online-Marktplatz bietet neben Peripheriegeräten, Ersatzteilen und Zubehör zudem innovative Lösungen zu Steigerung der Qualität und der Effizienz. Angeboten wird alles, was im Produktionsalltag benötigt wird. Als Highlight stellt das Unternehmen auf der Formnext Messe seine Lösung zum sicheren, kontaminationsfreien und rückverfolgbaren Pulverhandling dar. Ein speziell für die Additive Fertigung entwickeltes Behältersystem mit leckagefreien Ventilen ermöglicht die Lagerung und das Handling der Pulver unter Ausschluss von Sauerstoff

und Feuchtigkeit und mittels RFID-Tags wird eine eindeutige „Traceability“ garantiert. Auch wurden klimatisierte, mobile Fertigungszellen im Rahmen einer Kooperation mit einem Hersteller für Industriebau entwickelt. Neben idealen Aufstellbedingungen für die AM-Anlagentechnik, verbessern Gassensoren und ein Luftreinigungssystem die Arbeitssicherheit dadurch erheblich.

Wenn verschiedene Kompetenzen gebündelt werden und eine interdisziplinäre Zusammenarbeit entsteht – wie zum Beispiel durch die oben genannten Startups – sprechen die Ergebnisse für sich. So konnte zum Beispiel das Gewicht eines Satellitenbauteils um 50 Prozent reduziert werden. Die Topologieoptimierung hierfür lieferte der Algorithmus von AMendate, Additive Marking übernahm die Produktkennzeichnung, AMproved sorgte für reibungsfreie Produktionsprozesse. Koordiniert und durchgeführt wurde das Projekt am DMRC in Kooperation mit der Industrie. Hier zeigt sich, wie gemeinsame, interdisziplinäre Kooperation eine Brücke zwischen Industrie und Forschung schlägt, um die Technologie langfristig zu industrialisieren.

.....  
 Dr.-Ing. Christian Lindemann  
 Managing Director  
 Direct Manufacturing Research Center (DMRC)  
 Universität Paderborn  
 Paderborn  
 www.dmrc.de  
 .....

# 4D-Textilien: Morphende textile Hybridstrukturen für Medizin, Automotiv und Aerospace-Anwendungen

DAVID SCHMELZEISEN UND THOMAS GRIES

Der 3D-Druck beschäftigt sich ausschließlich mit der Erzeugung statischer Gegenstände. Zeitlich veränderliche Strukturen zu schaffen, ist Aufgabe einer ganz neuen Forschungsrichtung, die sich unter dem Namen 4D-Druck entwickelt hat.

Fotos: ITA



Morphende 4D-Textilien mit Taster-Oberfläche für die Mensch-Maschine-Interaktion.

Jalousien aufziehen, Fenster öffnen, Kleidung tragen, Fahrzeuge lenken, Computer bedienen, Rennrad fahren. Unser Alltag ist bestimmt durch die Manipulation statischer Objekte. Die Digitalisierung unserer Umgebung hilft uns bereits in der Interaktion mit alltäglichen Objekten. Kleine Motoren, digital angesteuert, übernehmen zunehmend Alltagsaufgaben. Man spricht von intelligenten Systemen – sie bestimmen die vierte Industrielle Revolution. Doch Mitarbeiter des Instituts für Textiltechnik (ITA) an der RWTH Aachen University sind bereits dabei, weit über die vierte Industrielle Revolution hinauszugehen. Sie stellen die weitrei-

chende Frage: „Wie verleihen wir den statischen Objekten in unserer Umgebung Leben?“

Die Antwort liegt in der vierten Dimension: der Zeit. Wenn wir dreidimensionalen Objekten dynamische Eigenschaften geben, gelangen wir als logische Folge zu vierdimensionalen Strukturen. Der Begriff „4D printing“ wird seit 2013 von Skylar Tibbits, Architekt und Vordenker, am Self Assembly Labs des MIT geprägt. Tibbits beschäftigt sich mit 3D-gedruckten Strukturen, die in Folge eines externen Reizes ihre Form verändern. Er nutzt Polymere, die auf Feuchtigkeit mit Quellung oder auf Tempe-

ratur mit Ausdehnung reagieren und baut daraus schichtweise Strukturen auf. Diese Grundlagen sind interessante Ansätze zur Realisation von zeitveränderlichen Objekten. Problematisch ist die Skalierbarkeit der Strukturen sowohl in Bezug auf ihre Geometrie als auch auf den zu erzielenden Effekt.

## Zeitveränderliche Multimaterialsysteme

Deshalb arbeitet das Institut für Textiltechnik (ITA) gemeinsam mit namhaften Industriepartnern aus NRW und Deutschland an der Umsetzung von zeitveränderlichen Multimaterialsystemen. Diese hybriden Werkstoffe beste-

hen aus hochelastischem Textil und additiv gefertigten Smart Materials: 4D Textil.

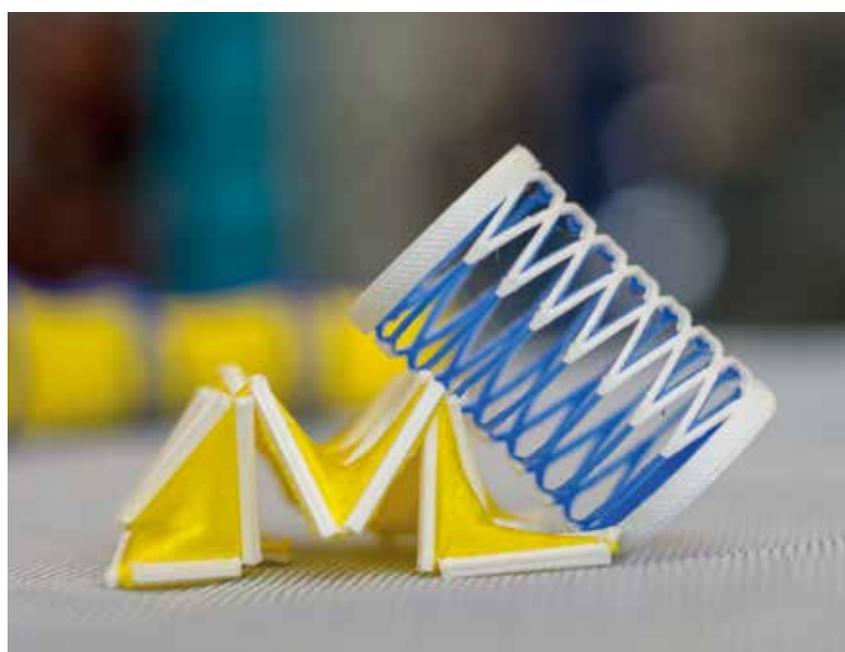
Ein frühes Beispiel für diese Vision ist das Fahrzeugkonzept BMW GINA Light Vision. Revolutionär war die „fließende“ Karosserie aus flexiblem Textil. Die textile Karosserie sollte Form und Funktionen in einem Bauteil vereinen. Sie sollte auf Impulse reagieren, etwa durch Öffnen und Schließen von Türen, Scheinwerfern oder der Motorhaube.

Im Jahr 2016 wurde vom ITA das erste Patent für den Hybridwerkstoff 4D Textil angemeldet. Anfang 2017 wurde die interdisziplinäre Forschungsgruppe um Prof. Gries mit dem Innovationspreis der RWTH Aachen für den Hybridwerkstoff 4D Textil ausgezeichnet. Im Jahr 2018 folgte anschließend der Kreativitätspreis des Deutschen Textilmaschinenbaus 2018 durch den VDMA Fachverband Textilmaschinenbau.

lisierten Endprodukt. Die Herstellung von formveränderlichen Fasern und Filamenten wird am ITA mithilfe industrieller Prozesstechnik auf einen wirtschaftlichen Prozess skaliert. Mithilfe von über 400 Maschinen im Technikum des ITAs werden aus solchen Fasern und Filamenten faserbasierte Produkte.

Aufsehen hat die erstmalige Verbindung von 3D-Druck und gestrickten Textilien zu autoreagiblen Multimaterialien erregt. Autoreagible Oberflächen, die den Nutzer im Automobilinterieur unterstützen, sind erste Prototypen. Zukünftig sehen die Forscher am ITA gemeinsam mit Industriepartnern aus NRW eine Vielzahl von Anwendungen solcher Multimaterialien: Drei öffentliche Projekte beschäftigen sich derzeit mit dem Einsatz der Multimaterialsysteme im Bereich des automobilen Interieurs, der Medizintechnik und der Architektur.

Im Projekt Alive Automotive Interior sollen gemeinsam mit namhaften Partnern aus NRW Textilien entwickelt werden, die später den Nutzer im Zeitalter des autonomen Fahrens bei der Bedienung seiner digitalen Umgebung unterstützen. In der Medizintechnik wird an tubulären Strukturen gearbeitet, die aktiv ihre Form verändern können. Damit können sich die Implantate selbstständig bewegen und am Einsatzort zusammenbauen. In der Architektur sollen aktive, textile Außenhüllen den Energieverbrauch über eine sonnenabhängige, materialintegrierte Steuerung verringern. Darüber hinaus sind Designeffekte realisierbar, die im Wechselspiel mit der direkten Umgebung stehen.



Programmierung der Textilienoberfläche für Akustikeigenschaften und Runddruck für Orthesen-Anwendungen.

Die Vision zeitlich veränderlicher Textilien war geboren. Bis heute blieb das Modell GINA eine Vision. Zeitlich veränderliche Textilien stellen den nächsten Evolutionsschritt textiler Materialien dar: vom funktionalen technischen Textil zum lebendigen Bauteil. Das Institut für Textiltechnik kombinierte daher 2016 erstmals elastische Textilien mit sogenannten 4D gedruckten Strukturen. Gemeinsam mit Industriepartnern aus NRW erweitert das ITA das Konzept „4D Textil“ auf eine Vielzahl von Applikationsfeldern: morphende Anzeigesysteme und Touchpads, selbstregulierende Fassadenelemente und programmierbare Implantatsysteme sind Beispiele.

**Lebendige Strukturen – 4D Textiles**  
 Textilien vereinen hohe Festigkeiten, Elastizität und Drapierbarkeit mit geringer Biegesteifigkeit. Gleichzeitig sind sie in großen Mengen zu geringen Kosten hoch individualisiert herstellbar. Aufgrund dieser Eigenschaften bilden sie die ideale Basis für 4D-Strukturen. Die Funktionalisierung mit autoreagiblem Material kann während der textilen Herstellung auf Faser-, Garn- und Flächenebene oder in der anschließenden Veredelung erfolgen. Die Mitarbeiter des ITA profitieren bei ihrer Forschung von der vollen Prozesskette eines der größten RWTH-Institute – von der Faserherstellung bis hin zum funktiona-

David Schmelzeisen  
 Leiter der Querschnittsgruppe 4D Textil

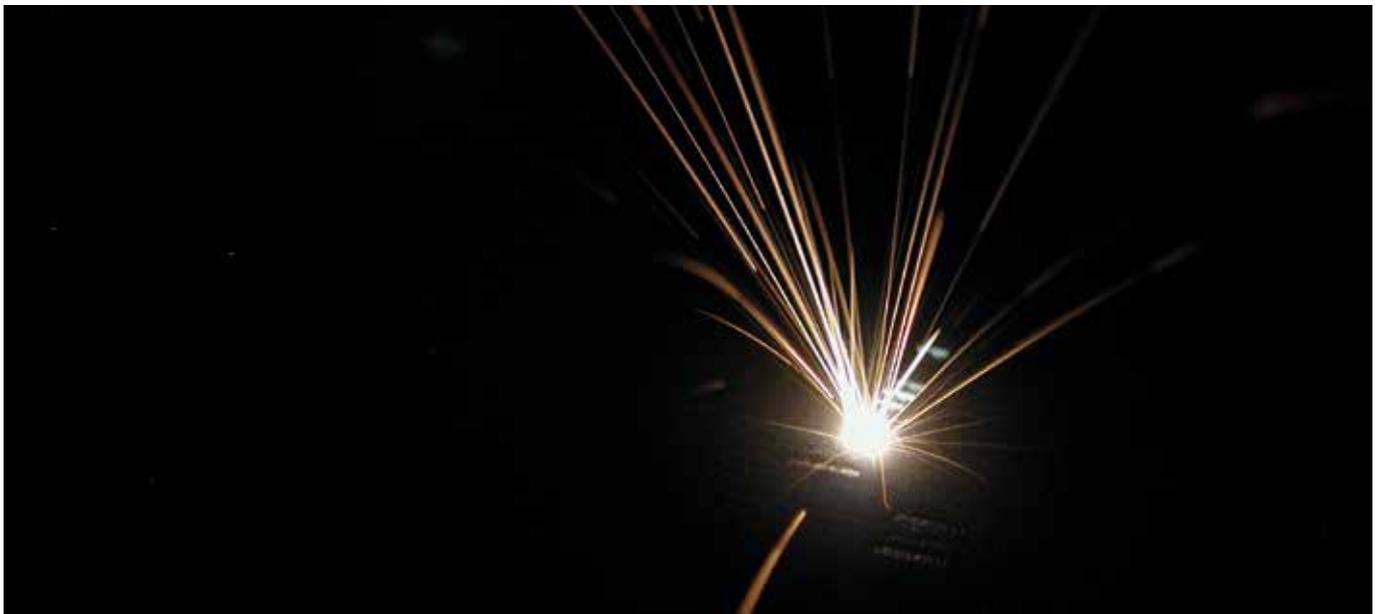
Prof. Dr.-Ing. Thomas Gries  
 Institutsleiter  
 Institut für Textiltechnik  
 an der RWTH Aachen  
 Aachen  
[www.ita.rwth-aachen.de](http://www.ita.rwth-aachen.de)

# Additive Fertigung wird hybrid – Metall kombiniert mit Keramik

CHRISTOPH KAMMANN UND JAN T. SEHRT

Was wäre, wenn der 3D-Drucker auf Knopfdruck die gewünschte Pulvermischung für das Laser-Strahlschmelzverfahren mischen und in den Drucker einspeisen könnte? Mit dieser Vision beschäftigt sich der Lehrstuhl Hybrid Additive Manufacturing (HAM) der Ruhr-Universität Bochum und versucht, das Potenzial der additiven Fertigungstechnik im Bereich des Laser-Strahlschmelzens zu erschließen und die Palette an Werkstoffen dafür zu erweitern.

Foto: Ruhr-Uni Bochum



Belichtung des Pulvers durch den Laser beim Strahlschmelzen.

Das Laser-Strahlschmelzen ist ein additives Fertigungsverfahren, mit dem sich hochkomplexe metallische Bauteile direkt als Prototypen oder einsatzfähige Endprodukte herstellen lassen. Dabei wird Metallpulver schichtweise durch einen Laserstrahl aufgeschmolzen und verfestigt sich zu einem soliden Werkstoff. Momentan ist die Palette metallischer Werkstoffe für die Verarbeitung noch wesentlich kleiner als für konventionelle Verfahren. Teilweise wurden die derzeit verfügbaren Werkstoffe speziell für die Additive Fertigung angepasst. Der Trend geht hier dahin, die Eigenschaften der Werkstoffe für die jeweiligen Einsatzgebiete in Endprodukten anzupassen.

Der Lehrstuhl Hybrid Additive Manufacturing der Ruhr-Universität Bochum erforscht, wie sich die Eigenschaften 3D-gedruckter metallischer Bauteile durch gezieltes Einbringen von Keramik verändern lassen. Dafür werden die pulverförmigen metallischen Ausgangsmaterialien beispielsweise mit Keramikpartikeln geträgert und durch das Laser-Strahlschmelzverfahren verarbeitet. Durch die Mischbarkeit der pulverförmigen Ausgangsmaterialien eröffnen sich im Bereich der additiven Fertigungstechnik ganz neue Möglichkeiten, um produktspezifische Werkstoffeigenschaften zu erzeugen.

Ursprünglich hatten die Arbeiten an der Universität Duisburg-Essen am Lehr-

stuhl für Fertigungstechnik begonnen und werden nun durch den neugegründeten Lehrstuhl „Hybrid Additive Manufacturing“ an der Ruhr-Universität Bochum fortgeführt.

## Das Wunschkpulver

Man stelle sich eine Maschine vor, der man eine gewünschte Materialzusammensetzung für ein bestimmtes Produkt vorgibt. Die Maschine mischt automatisch die gewünschte Pulvermischung und führt den 3D-Druckprozess mit den entsprechenden Einstellungen für die Werkstoffkombination durch. Ob nun eine bestimmte Legierung gewünscht ist, die unter besonderen Bedingungen Vorteile bietet, oder keramische Hartphasen, die die Ver-

schleißbeständigkeit eines Werkstoffs erhöhen können, viele Eigenschaften können über die Pulvermischung beeinflusst werden.

### Optimiertes Mischen

Die Eigenschaften der Pulvermischungen sind beim Laser-Strahlschmelzen entscheidend, damit ein gleichmäßiger Pulverauftrag und die Verfestigung durch den Laser möglich sind. Für die Herstellung homogener Pulvermischungen aus Metallpulver und Mikro-Keramikpartikeln wurde ein automatisierter Turbula-Mischer entworfen, aufgebaut und in Betrieb genommen. Mit diesem Mischer wurde ein Trägerungsverfahren erarbeitet, mit dem sich homogene Metall-Keramik-Mischungen herstellen lassen. Turbula-Mischer sind dafür bekannt, gute Resultate beim Mischen von Pulvern bei niedrigen Drehzahlen zu erzielen. Durch die kombinierte Bewegung aus Rotation, Translation und Umstülpung erreichen sie eine außergewöhnliche Effizienz. Durch die Optimierung der Parameter des Turbula-Mischers und den Einsatz von Mischhilfen gelang es, ein geeignetes Verfahren für Metallpulver mit Mikro-Keramikpartikeln zu erarbeiten und Pulvermischungen für den 3D-Druck herzustellen.

### Modifizierte Werkstoffe

Ziel muss es immer sein, dass die Werkstoffeigenschaften letztendlich die vom Bauteil geforderten Kriterien wie Verschleißfestigkeit, Stabilität und Funktionalität erfüllen. Die Verteilung der Keramikpartikel im Bauteil und die damit verbundenen Materialeigenschaften hängen stark von den Einstellungen des 3D-Druckers ab. Daher wurden Probekörper aus allen geträgerten Metallpulvern mit unterschiedlichen Prozessparametern hergestellt und durch mikroskopische Analyseverfahren und die Messung mechanischer und tribologischer Eigenschaften untersucht und verglichen. Ziel war es, zu sehen, wie die Keramikpartikel im Bauteil verteilt sind und welche Auswirkungen auf Festigkeit und Verschleißigenschaften sich daraus ergeben.

### Materialeigenschaften an Belastung anpassen

Während des 3D-Drucks werden die Materialeigenschaften zusammen mit der Geometrie erzeugt und können lokal beeinflusst werden. Im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren können so beispielsweise im Innern von Bauteilen gezielt andere Festigkeiten erzeugt werden als im restlichen Bauteil. Das

## KNOW-HOW

### Inversionskinematik

Die Umstülpung stellt eine neue kinematische Grundbewegung dar, die durch die Erfindung eines umstülpbaren Würfels 1929 von Paul Schatz. Daraus entwickelte sich die Inversionskinematik. Die eleganten Geometrien und Bewegungen, die daraus entstanden, wurden von Künstlern und Architekten aufgegriffen und fanden durch den Turbula-Mischer oder die Oloid-Technik auch technische Anwendung.

eröffnet die Chance, entlang von Kraftflusslinien des Bauteils höhere Festigkeiten zu erhalten. Denkbar wäre hier die Erzeugung bionischer Strukturen mit einer hohen Festigkeit umgeben mit einer duktileren Metallmatrix, also eine Art Verbundwerkstoff aus einem Material mit unterschiedlicher Festigkeit. So könnten komplett neue, bisher nicht herstellbare Werkstoffeigenschaften erzeugt werden.

Weitere Materialtests der neuen Werkstoffe für den Einsatz in Endprodukten stehen noch aus, um die Liste von möglichen und am Markt einsatzfähigen Metallpulvermischungen zu erweitern.

Christoph Kammann  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Prof. Dr.-Ing. Jan T. Sehr  
Lehrstuhlinhaber  
Lehrstuhl Hybrid Additive Manufacturing  
Ruhr-Universität Bochum  
[www.mb.ruhr-uni-bochum.de](http://www.mb.ruhr-uni-bochum.de)



Der Turbula-Mischer im Testeinsatz am Lehrstuhl Hybrid Additive Manufacturing.

# Schicht für Schicht zur Turbine

RALF DAHMEN

Additive Fertigungsverfahren ermöglichen völlig neue Bauteilgeometrien und -funktionen sowie eine wirtschaftliche Darstellung von Kleinserien. Damit ist das „Additive Manufacturing“ ideal für Metallkomponenten von Gasturbinen, wie ein Projekt der Solidteq GmbH aus Neuss beweist.



„Wir benötigen Metallkomponenten in moderaten Stückzahlen, mit hoher Funktionsintegration, optimalen mechanischen und thermischen Eigenschaften sowie einer strömungsoptimierten Gasführung.“ – Mit diesem Wunsch kam ein Hersteller von Gasturbinen auf die Solidteq GmbH aus Neuss, 3D-Druck in Metall, zu. Konkret angefragt wurden beispielsweise das Verdichter- und das Impellergehäuse für eine kleine, kompakte Gasturbine mit einem Leistungsspektrum von einigen hundert Kilowatt.

## **Strömungsoptimierte Auslegung**

Solidteq löste diese Quadratur des Kreises mithilfe der Additiven Fertigung. Bei diesem Verfahren schmelzen Laserstrahlen Schicht für Schicht aus Metallpulver an den vordefinierten Stellen das Bauteil zusammen. Das nicht erhitzte Metallpulver wird zum Schluss entfernt. Übrig bleibt das fertige Werkstück, erstellt ganz ohne teure Werkzeugformen, nur mit einem genauen dreidimensionalen Datensatz und einem 3D-Drucker.

Dieses Rezept behagte dem Kunden, denn zu diesem Zeitpunkt rechnete er mit etwa 30 verkauften Gasturbinen im Jahr 2018, im nächsten Jahr mit 100 bis 200. Bei solchen Stückzahlen lohnen sich keine aufwändigen Werkzeuge und Formen. Zudem forderte der Kunde eine strömungsoptimierte Auslegung in Bezug auf die Gasführung der Bau-

Im 3D-Druck gefertigte Solidteq-Bauteile.

teile. Dies wäre mit herkömmlichen Formgebungs- und Bearbeitungsverfahren nur sehr schwierig darstellbar gewesen.

Als Werkstoff wählte Solidteq die korrosionsbeständige Nickel-Basis-Legierung Inconel aus. Sie eignet sich besonders gut für die thermisch und mechanisch hochbelasteten Bauteile einer Gasturbine. Da sich das Verdichtergehäuse der Gasturbine über eine Dimension von 300 x 300 x 200 mm erstreckt, dauert der dreidimensionale Druckprozess etwa achtzig Stunden. Für diesen relativ langen Zeitraum muss Solidteq den weitgehend automatischen Betrieb der Anlage und das hochpräzise Aufschmelzen des Pulvers bei sehr hohen Temperaturen gewährleisten.

### **Keine Beeinträchtigung des Rohteils**

Insbesondere der Temperatureintrag während des Schmelzprozesses durfte sich nicht negativ auf die Bauteilgeometrie und die geforderten engen Toleranzen auswirken. Solidteq unterstützte den Auftraggeber bei der intelligenten Auslegung der Bauteile, sodass die erforderlichen Stützgeometrien zwar den Bauteilverzug minimieren, aber weder die strömungsgünstige Auslegung der Gaskanäle noch die weitere Bearbeitung des Rohteils beeinträchtigen.

Diese Feinplanung der Bauteile erfolgte innerhalb weniger Tage, bevor der finale Datenstand vorlag und die eigentliche Additive Fertigung begann. Insgesamt vergingen von der Vergabe des Auftrags bis zu den finalen additiv gefertigten Teilen nur etwa zehn Wochen

– viel weniger als bei herkömmlichen Formgebungsprozessen. Für spätere kleine funktionale oder geometrische Änderungen an den Bauteilen müssen nur die Simulations- und Konstruktionsdaten entsprechend abgeändert werden. Am additiven Fertigungsprozess ändert sich praktisch nichts.

Dieses Dienstleistungsangebot aus Beratung bei der Bauteilauslegung und der Additiven Fertigung rundet das Unternehmen mit der nachfolgenden mechanischen Bearbeitung der Bauteile sowie der umfassenden Dokumentation ab. Den „letzten Schliff“ gibt Solidteq den Komponenten mit Prozessen wie Drehen, Bohren, Fräsen, Honen oder Erodieren sowie Services wie Qualitätsmanagement, Materialprüfung, Beschichten und Lackieren. Ebenso ist eine umfassende Dokumentation aller Prozesse von der Arbeitsvorbereitung bis hin zur termingerechten Lieferung der Bauteile auf Wunsch möglich. Nicht zuletzt dieses umfassende Serviceangebot überzeugte den Hersteller der Gasturbinen und führte bereits zu weiteren Gesprächen über neue Aufträge für Bauteile in Additiver Fertigung.

Solidteq sieht die Additive Fertigung als sinnvolle Technik für Prototypen und Kleinstserien, bei denen die Taktzeiten keine kritische Rolle spielen. Ebenso für Leichtbau, Funktionsintegration und komplexe Bauteilgeometrien. Da ein großer Teil der Solidteq-Mannschaft aus dem Automotive-Bereich stammt, ist diese mit höchsten Anforderungen und anspruchsvollen



Fotos: christophschuhnecht

Prozessen vertraut. Dieses einzigartige Know-how entlang der gesamten Prozesskette stellt Solidteq als Startup nun allen Interessenten aus dem Maschinen- und Anlagenbau zur Verfügung.

Bei der Weiterentwicklung von 3D-Druck in Metall kann Solidteq auf eine solide Basis zurückgreifen. Das Unternehmen ist aus der Prototypenfertigung des Automobilzulieferers Rheinmetall Automotive AG hervorgegangen und kann von den schlanken Strukturen und der Agilität eines Newcomers sowie den über Jahre angesammelten Praxiserfahrungen eines globalen Technologiekonzerns profitieren.

.....  
 Ralf Dahmen  
 Leiter Vertrieb  
 Solidteq GmbH  
 Neuss  
[www.solidteq.com](http://www.solidteq.com)  
 .....

# Additive Fertigungsmethoden im Sondermaschinenbau

VOLKER ZÜSCHER

Die rasante Entwicklung im Bereich Additive Manufacturing (AM) eröffnet vielen Branchen ganz neue Herstellungsmöglichkeiten – das gilt auch im Sondermaschinenbau. Der Kölner Turbomaschinenhersteller Atlas Copco Energias GmbH berichtet über seine Erfahrungen mit dem Laserstrahlschmelzverfahren (SLM) in der Fertigung von Laufrädern.

Fotos: Atlas Copco Energias



Expansions-turbine für eine Erdgasanwendung.

Atlas Copco Energias gehört zum Geschäftsbereich Compressor Technique. Am Standort Köln entwickelt und fertigt das Unternehmen Ein- und Mehrwellenkompressoren und Expansions-turbinen, die in den Bereichen Öl und Gas, in Chemie/Petrochemie, Industriegase, sowie in der Energiewirtschaft eingesetzt werden.

## Unterschiedliche, aber etablierte Fertigungsprozesse für Laufräder

Ein wesentlicher Schwerpunkt bei Atlas Copco Energias ist die Entwicklung des Laufraddesigns, angepasst an kundenindividuelle Prozesse und die damit einhergehenden Anforderungen. Das Laufrad ist ein rotierendes und durch Fliehkräfte hochbelastetes Bauteil. Das hierbei verwendete Material ist für jeden Anwendungsfall speziell ausgelegt und entsprechend qualifiziert. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen offenen Laufrädern und Deckscheibenlaufrädern, die einen Durchmesserbereich von ca. 60 mm bis zu 1.500 mm aufweisen können.

Durch die rasante Entwicklung in der Additiven Fertigung eröffnen sich neue Möglichkeiten, um Metallbauteile direkt mit dem SLM zu generieren. Hierbei wurden erste Versuche unternommen, unterschiedliche Bauteile mit dem SLM herzustellen. Es zeigte sich, dass viele Bauteile mit der Additiven Ferti-



Getriebeturboverdichter von Atlas Copco Energas.



Offenes Laufrad.

gung noch nicht herstellbar sind, da sie zu groß sind oder in ihrer Geometrie keine ausreichende Komplexität aufweisen, um Kosteneinsparungen (z. B. durch das Zusammenfassen von Baugruppen zu einem Bauteil) zu erzielen.

Atlas Copco Energas hat sich auf Deckscheibenlaufräder mit komplexer Geometrie und kleinem Durchmesser mit weniger als 300 mm konzentriert und festgestellt, dass Deckscheibenlaufräder mit der Additiven Fertigung herstellbar sind. Ferner können zwei Bauteile zu einem Bauteil zusammengeführt werden.

#### Einblicke ins Verfahren

Eine Herausforderung ist das Entfernen der Stützkonturen in schwer zugänglichen Bereichen. Daher liegt ein Schwerpunkt auf der Nacharbeit – dem sogenannten Post Process. Ziel ist es, ein Verfahren zu untersuchen, das Stützkonturen in einem Arbeitsgang maschinell entfernen kann. Atlas Copco Energas hat mehrere Fertigungsmethoden im Bereich ‚Polieren‘ betrachtet und getestet. Dabei wurde eine spezielle elektrochemische Puls-methode untersucht, die das Entfernen von Stützkonturen in schwer zugänglichen Bereichen fokussiert. Erste Tests der Methode haben gezeigt, dass sich die Stützkonturen grundsätzlich gut entfernen lassen.

Diese Puls-methode ist für alle 3D gedruckten Metallbauteile geeignet. Da keine zusätzlichen Betriebsmittel benötigt werden, wird der erforderliche Aufwand deutlich reduziert. Zusätzlich wird eine hohe Anforderung an die Oberflächengüte gestellt, da die Laufräder einen hohen Wirkungsgrad aufweisen müssen. Aus diesem Grund ist ein nachgelagerter Polierprozess erforderlich. Mit einer selektiven mechanisch-physikalischen Oberflächenbehandlung, die in mehreren Arbeitsschritten abläuft, können Werte mit weniger als Ra 1 µm erreicht werden. Aus aktueller Sicht ist dies ein gangbarer Weg, um Stützkonturen zu entfernen und um definierte Oberflächenwerte zu erzielen. Alle hier dargestellten Fertigungsverfahren können als Lohnfertigung angefragt werden.

Der nächste Schritt in diesem Prozess ist die Herstellung eines vollständigen Deckscheibenlaufrades und die Durchführung von detaillierten Oberflächenmessungen und Gefügeuntersuchungen von Laufradsegmenten.

#### Vielversprechende Potenziale

Parallel zur Oberflächenbehandlung wurden Schleudertests an additiv hergestellten Deckscheibenlaufrädern durchgeführt. Der Schleudertest ist bei Atlas Copco Energas ein Qualitätsprüfverfahren und wird für alle Laufräder

durchgeführt: Bei einem Schleudertest wird das Laufrad in einer gesicherten Vakuumkammer auf eine Schleuderdrehzahl hochgefahren und nach einer definierten Zeit wieder abgebremst. Die ersten Schleudertests für AM gefertigte Laufräder verliefen positiv.

#### Fazit und Ausblick

Der nächste Schritt wird die Validierung des Materials sein – gleichzeitig wird dies wohl auch die größte Herausforderung darstellen. Die Additive Fertigung bietet viele neue Möglichkeiten für Designänderungen an Bauteilen. Dabei können Funktionalitäten eingebunden werden, die sonst nur über mehrere Fertigungsschritte möglich wären: Das heißt, dass die Bauteilkomplexität grundsätzlich geringe Auswirkungen auf die Herstellkosten der Additiven Fertigung (SLM Prozess) haben wird. Erste Kostenvergleiche zur konventionellen Fertigung von Deckscheibenlaufrädern zeigen, dass die Additive Fertigung kostengünstiger ist. Jedoch können nachgelagerte Prozesse, wie beispielsweise spanende Bearbeitung oder Polieren, die Kostenvorteile reduzieren.

Volker Züscher  
Process- und Production Engineer  
Atlas Copco Energas GmbH  
Köln  
www.atlascopco-gap.com

# Impressum

## **Herausgeber**

ProduktionNRW  
Cluster Maschinenbau/Produktionstechnik  
c/o VDMA NRW  
Grafenberger Allee 125  
40237 Düsseldorf  
Telefon + 49 211 687748-0  
Fax + 49 211 687748-50  
info@produktion.nrw.de  
www.produktion.nrw.de

## **Verlag**

VDMA Verlag GmbH  
Lyoner Straße 18  
60528 Frankfurt

## **Verantwortlich für den Inhalt**

Hans-Jürgen Alt

## **Redaktion**

Ina Grothof

## **Layout und Design**

VDMA Verlag GmbH

## **Produktion**

designtes, Frankfurt

## **Titelseite**

Andrey\_A/Adobe Stock

## **Copyright 2018**

Veröffentlichungen in jeder Form, auch auszugsweise,  
nur mit Genehmigung von ProduktionNRW und unter  
ausführlicher Quellenangabe.



**ProduktionNRW**  
**Cluster Maschinenbau/Produktionstechnik**  
c/o VDMA NRW  
Grafenberger Allee 125  
40237 Düsseldorf  
[www.produktion.nrw.de](http://www.produktion.nrw.de)

**Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie  
des Landes Nordrhein-Westfalen**  
Berger Allee 25  
40213 Düsseldorf  
[www.wirtschaft.nrw.de](http://www.wirtschaft.nrw.de)

ProduktionNRW ist das Cluster des Maschinenbaus und der Produktionstechnik in Nordrhein-Westfalen und wird vom VDMA NRW durchgeführt. ProduktionNRW versteht sich als Plattform, um Unternehmen, Institutionen und Netzwerke untereinander und entlang der Wertschöpfungskette zu vernetzen, zu informieren und zu vermarkten. Wesentliche Teile der Leistungen, die ProduktionNRW erbringt, werden aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung



**EFRE.NRW**  
Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung