



**Fraunhofer**  
GENERATIV

# NEWS

---

# 1.19

DDMC 2020, MARCH 18-19, BERLIN

NEW MEMBERS: FRAUNHOFER IAPT AND IMM

IFAM DRESDEN: INNOVATION CENTER AM

3D PRINTING OF SMALL SATELLITE COMPONENTS

Liebe Leserinnen und Leser,

Wolfram und Titan aus dem 3D-Drucker oder ein Roboter, der dank eines 360°-Messfeldes einen richtungsunabhängigen Rundumblick besitzt und somit uneingeschränkt flexibel agieren kann – dies sind nur zwei Innovationen, die wir Ihnen in der aktuellen Ausgabe der Allianz GENERATIV NEWS 1.19 präsentieren.

Die Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung – ein Zusammenschluss von mittlerweile 19 Fraunhofer-Instituten, welche die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung und des 3D-Drucks repräsentieren – veröffentlicht regelmäßig diesen Newsletter, um Sie über aktuelle Forschungsergebnisse zu informieren.

In der aktuellen Ausgabe freut es mich besonders, Ihnen die Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT in Hamburg und das Fraunhofer-Institut für Mikro-technik und Mikrosysteme IMM in Mainz als neue Mitglieder unserer Allianz vorstellen zu können (S. 10 ff.). Nicht zuletzt möchte ich Sie an dieser Stelle auch auf unsere aller zwei Jahre stattfindende internationale Konferenz zur additiven Fertigung – die Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference DDMC hinweisen, die im kommenden März zum fünften Mal in Berlin stattfindet, und Sie herzlich einladen, sich als Referent oder Teilnehmer an der Konferenz zu beteiligen. Nähere Informationen zur Fraunhofer DDMC 2020 finden Sie auf Seite 6.

Gewinnen Sie auf der Folgeseite einen Überblick über alle Beiträge, die wir erstmalig komplett sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch für Sie aufbereitet haben.

Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Dr. Bernhard Müller

Sprecher der Fraunhofer-Allianz GENERATIV

Dear Readers,

Tungsten and titanium from the 3D printer or a robot with unlimited flexibility, thanks to a direction-independent panoramic view based on a 360° measuring field - these are just two innovations which we present to you in the current issue of the Additive Manufacturing Alliance NEWS 1.19.

The Fraunhofer Additive Manufacturing Alliance - an association of meanwhile 19 Fraunhofer Institutes, which represent the entire process chain of additive manufacturing and 3D printing - regularly publishes this newsletter to inform you about current research results.

In the current issue I am especially pleased to present the Fraunhofer Research Institution for Additive Production Technologies IAPT in Hamburg and the Fraunhofer Institute for Micro-technology and Microsystems IMM in Mainz as new members of our alliance (page 11 and 14/15). Last but not least, I would like to take this opportunity to draw your attention to our biennial international conference for additive manufacturing - the Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference DDMC, which will take place for the fifth time in Berlin in March, and invite you to participate as a speaker or participant in the conference. Further information about the Fraunhofer DDMC 2020 can be found on page 7.

On the following page you will find an overview of all contributions which we have prepared for you for the first time in German as well as in English.

Enjoy reading.

Dr. Bernhard Mueller

Spokesman of the Fraunhofer Additive Manufacturing Alliance

# Inhaltsverzeichnis / Content

<b>1. Fraunhofer DDMC 2020 Konferenz</b> .....Seite 6 Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference <i>Dr. Bernhard Müller, Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU</i>	<b>9. Training Additive Verfahren</b> .....Seite 33 Training Additive Manufacturing <i>Matthias Schneck, Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV</i>
<b>2. Messeaktivitäten der Allianz</b> .....Seite 8 Trade fair activities of the alliance <i>Dr. Bernhard Müller, Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU</i>	<b>10. 3D-Druck von Hartmetallen</b> .....Seite 36 3D Printing of Hartmetals <i>Johannes Pötschke, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS</i>
<b>3. Neues Allianz-Mitglied – Fraunhofer IAPT</b> .....Seite 10 New Member Institute – Fraunhofer IAPT <i>Tim Wischeropp, Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT</i>	<b>11. Additive Fertigung für die Niederlande</b> .....Seite 40 Additive Manufacturing for the Dutch Market <i>Kai Winands, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT</i>
<b>4. Neues Allianz-Mitglied – Fraunhofer IMM</b> .....Seite 12 New Member Institute – Fraunhofer IMM <i>Prof. Dr. Gunther Kolb, Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM</i>	<b>12. Dünnwandige Bauteile</b> .....Seite 42 Thin-Walled Components <i>Vincent Gerretz, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT</i>
<b>5. Prozessüberwachung beim LBM</b> .....Seite 16 Process Monitoring in LBM <i>Martin Jaretzki, Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU</i>	<b>13. LBM-Prozessparameterentwicklung</b> .....Seite 44 LBM Process parameters development <i>Aron Pfaff, Fraunhofer-Institut für Kurzezeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI</i>
<b>6. Roboter-Auge mit Rundumblick</b> .....Seite 22 The robot eye with an all-round field of view <i>Malte Buhr, Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT</i>	<b>14. 3D-Druck von Kleinsatelliten Komponenten</b> .....Seite 50 3D Printing of Small Satellite Components <i>Marius Bierdel, Fraunhofer-Institut für Kurzezeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI</i>
<b>7. Innovation Center Additive Manufacturing</b> .....Seite 26 Innovation Center Additive Manufacturing <i>Dr. Burghardt Klöden, Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM</i>	<b>15. Schmelzbadsimulation</b> .....Seite 54 Melt pool simulation <i>Dr. Claas Bierwisch, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM</i>
<b>8. Elektronenstrahlschmelzen</b> .....Seite 30 Electron Beam Melting <i>Dr. Burghardt Klöden, Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM</i>	

## Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference DDMC 2020

Am 18. und 19. März 2020 findet die fünfte Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference DDMC in Berlin statt. Experten aus Industrie und Forschung sind eingeladen, aktuelle Trends und Forschungsschwerpunkte miteinander zu diskutieren. Die DDMC 2020 fokussiert dabei auf folgende Themenschwerpunkte:

- **Produktentwicklung**, incl. co-design und mass customization,
- **Technologien**, incl. Bio-Printing, hybride Prozesse, technologische Neuerungen
- **Materialien**, inkl. Keramik, Biomaterialien und Multimaterialansätze
- **Qualität**, incl. Prozessmonitoring, Bauteilqualitätsmanagement
- **Post Processing**, incl. Oberflächenbehandlung, Prozessketten für die industrielle Produktion
- **Software**, incl. Prozesssimulation, automatisierte Konstruktion
- **Neueste industrielle Trends**

Abstracts können **bis zum 5. Juli 2019** eingereicht werden und werden einem Double-Blind-Review unterzogen.

Nähere Informationen finden Sie unter <https://www.ddmc-fraunhofer.de/>.



### Keynote Speaker DDMC 2020

unter anderem:

**Greg Fallon**

(Autodesk, Vice President of Design and Manufacturing Strategy)

**Janne Kytannen**

(3D Druck Künstler und Unternehmer)

**Tim Weber, Ph. D.**

(HP, Global Head of 3D Metals)

## Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference DDMC 2020

The 5th Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference DDMC will take place in Berlin, on March, 18-19 2020 and invites experts from science and industry to discuss current trends in additive manufacturing and industrial 3D printing. The range of topics of DDMC 2020 is as follows:

- **Product development**, incl. co-design und mass customization,
- **Technologies**, incl. bio-printing, hybrid processes, technological novelties
- **Materials**, incl. ceramics, bio-materials, multi-material approaches
- **Quality**, incl. process monitoring, part quality management
- **Post Processing**, incl. surface finishing, process chains for industrial production
- **Software**, incl. process simulation, automated design
- **Latest Industrial Trends**

Abstracts can be submitted **until July 5, 2019** and are all double blind reviewed.

For more information please visit <https://www.ddmc-fraunhofer.de/>.



### Keynote Speaker DDMC 2020

will be among others:

**Greg Fallon**

(Autodesk, Vice President of Design and Manufacturing Strategy)

**Janne Kytannen**

(3D printing artist and entrepreneur)

**Tim L. Weber, Ph. D.**

(HP, Global Head of 3D Metals)

### Rapid.Tech + FabCon 3.D



Rapid.Tech + FabCon 3.D ist das Informations-Event für alle Akteure des Additive Manufacturing. Als ein Impulsgeber für die Branche versammelt die Kongressmesse jährlich mehr als 200 Aussteller und 5 000 Fachbesucher im Zentrum von Deutschland. Bereits zum 16. Mal treffen sich vom 25. bis 27. Juni 2019 in Erfurt Entwickler, Anwender und Experten aus der Szene zum Austausch von Fachwissen und Innovationen.

**Besuchen Sie uns auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand!**

#### Rapid.Tech + FabCon 3.D

Halle 2, Stand 207  
Erfurt  
25.-27. Juni 2019

### formnext 2019 - where ideas take shape

powered by:



Die formnext – als Weltleitmesse für Additive Manufacturing und die nächste Generation der intelligenten industriellen Produktion – findet vom 19.-22. November 2019 in Frankfurt am Main statt.

Sie ist die führende Fachmesse mit begleitender Konferenz zum Thema Additive Manufacturing und bildet dabei die komplette vor- und nachgelagerte Prozesskette ab. Aufgrund des großen Zuspruchs findet die Messe in diesem Jahr erstmals in der Halle 11, in der neu gebauten Halle 12 sowie dem Portalhaus des Frankfurter Messegeländes statt.

**Besuchen Sie uns auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand!**

#### formnext

Halle 11.0, Stand D51  
Frankfurt am Main  
19.-22. November 2019

### Rapid.Tech + FabCon 3.D



Rapid.Tech + FabCon 3.D is the information event for all players in the additive manufacturing industry. The conference and trade show is a driving force in the sector, attracting more than 200 exhibitors and 5,000 trade show visitors to central Germany each year. The next edition of the event, from 25 to 27 June 2019, will be the 16th time that developers, users and experts in the field meet to exchange expertise and innovations.

**Please visit us on the Fraunhofer joint booth!**

#### Rapid.Tech + FabCon 3.D

Hall 2, Booth 207  
Erfurt  
June 25 - 27, 2019

### formnext 2019 - where ideas take shape

powered by:



The formnext – as the leading global exhibition and conference on additive manufacturing and the next generation of intelligent industrial production – will take place from 19th – 22nd November 2019 in Frankfurt am Main.

The fair is the leading exhibition with accompanying conference dedicated to additive manufacturing and all of its pre- and post-processes. Due to the great resonance the fair will take place in Hall 11, the newly built Hall 12, and the Portalhaus on the Frankfurt exhibition grounds for the first time this year.

**Please visit us on the Fraunhofer joint booth!**

#### formnext

Hall 11.0, booth D51  
Frankfurt am Main  
November 19 - 20, 2019

**Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien**

Das ehemalige Lager Zentrum Nord (LZN) ist seit Anfang 2018 Teil der Fraunhofer-Familie und gleichzeitig als Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT der Allianz Generativ beigetreten. Sie ist eine anerkannte Einrichtung im wissenschaftlich-industriellen Technologietransfer im 3D-Druck. Ziel ist die industrielle Forschung und Entwicklung der additiven und autonomen Produktionstechnologien mit den Schwerpunkten Design, Prozess, Digitale Produktion und autonome Systeme mit ca. 100 Mitarbeitende am Standort in Hamburg. Im Fokus steht die Anwendung additiver Technologien im Flugzeug-, Fahrzeug-, Schienenfahrzeug-, Schiff-, Werkzeug- und Maschinenbau sowie der Medizin- und Kunststofftechnik für die Serienfertigung im Sinne des Rapid und Bionic Manufacturing.



Hauptgebäude des IAPT



Eröffnungsfeier der Einrichtung

Das Fraunhofer IAPT verfolgt dabei das Ziel, seine Kunden für die additive Serienfertigung mit einzigartiger technisch-konstruktiver Leistungseffizienz sowie höchster Qualität und Kosteneffizienz im Produkt zu befähigen und über anwendungsorientierte Forschung neue profitable Geschäftsfelder mit Alleinstellungsmerkmalen zu erschließen.

Die Allianz GENERATIV begrüßt die Hamburger Kompetenz zur Erweiterung des Leistungsangebots von Fraunhofer im Bereich der additiven Fertigung.

**Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT**

Dipl.-Ing. Tim Wischeropp  
 ☎: +49 40 48 40 10 722  
 ✉: [tim.wischeropp@iapt.fraunhofer.de](mailto:tim.wischeropp@iapt.fraunhofer.de)  
[www.iapt.fraunhofer.de](http://www.iapt.fraunhofer.de)

**Fraunhofer Research Institution for Additive Manufacturing Technologies**

The former Laserzentrum Nord (LZN) has become a part of the Fraunhofer-Gesellschaft as Fraunhofer Research Institution for Additive Manufacturing Technologies IAPT and joint the Fraunhofer Manufacturing Alliance simultaneously at the beginning of 2018. The Fraunhofer IAPT is a well-known institution in scientific-industrial technology transfer in 3D printing. The goal is the industrial research and development of additive and autonomous production technologies with a focus on design, process, digital production and autonomous systems with approximately 100 employees at their site in Hamburg. The focus is on the application of additive technologies in aircraft, vehicle, rail vehicle, ship, tool and machine construction as well as medical and plastics technology for series production in the sense of rapid and bionic manufacturing.



Main building of the IAPT



Opening Ceremony of the Research Institution

The Fraunhofer IAPT pursues the goal of enabling its customers for additive serial production with unique technical performance efficiency as well as highest quality and cost efficiency in the product and to open up new profitable business fields with unique selling points through application-oriented research.

The Fraunhofer Additive Manufacturing Alliance welcomes the Hamburg expertise to expand the competence portfolio of the Fraunhofer Gesellschaft in the field of AM.

**Fraunhofer Research Institution for Additive Manufacturing Technologies IAPT**

Dipl.-Ing. Tim Wischeropp  
 ☎: +49 40 48 40 10 722  
 ✉: [tim.wischeropp@iapt.fraunhofer.de](mailto:tim.wischeropp@iapt.fraunhofer.de)  
[www.iapt.fraunhofer.de](http://www.iapt.fraunhofer.de)

## Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM

Das Fraunhofer IMM mit Standort Mainz und aktuell ca. 130 Mitarbeitenden forscht und entwickelt in den Bereichen Energie- und Chemietechnik (Prozesse, Reaktoren, Anlagen) sowie Analysensysteme und Sensoren (Methoden, Komponenten, Systeme). Dabei stellt die »mikrostrukturierte Verfahrenstechnik und Katalyse« eine der beiden Kernkompetenzen des IMM dar, die in den Geschäftsfeldern Energie, Chemie und Funktionale Materialien Anwendung findet.

Der integrierte Ansatz von Apparate-, Prozess- und Anlagenentwicklung in Verbindung mit der Nutzbarmachung sowie Neu- und Weiterentwicklung fortschrittlicher Verfahren bei der Fertigung mikrostrukturierter Apparate garantieren nachhaltig den Erfolg in diesen Geschäftsfeldern. Zu diesen Verfahren gehören u.a. Laserablation, Laserschweißen und -schneiden, Vakuumlöten, elektroerosive Verfahren sowie präzisionsmechanische Bearbeitung, Prägen, Walzprägen und nasschemisches Ätzen. Seit sechs Jahren und in ständig steigendem Umfang werden diese Fertigungstechnologien ergänzt durch generative Verfahren, insbesondere durch den Einsatz des Laser-Strahlschmelzens bzw. Selective-Laser-Melting (LBM/SLM) zur kostengünstigen Herstellung von speziellen Apparaten mit Mikrostrukturen aus bevorzugt Edelstählen oder anderen korrosionsbeständigen Metallen. Dies gibt einerseits Zugang zu Apparaten, die konventionell nicht oder

nur mit erheblich größerem Aufwand realisierbar wären. Andererseits wird auch eine kostengünstige Kleinserienfertigung häufig benötigter Apparate wie Wärmetauscher möglich.



Hauptgebäude des IMM

In der Zusammenarbeit mit verschiedenen namhaften Herstellern und durch eigene Untersuchungen wurde das notwendige Know-how zur fertigungsgerechten konstruktiven Gestaltung dieser Apparate entwickelt und ständig erweitert. Angestrebt wird die künftige Einbringung von Katalysatoren bzw. oxydischen Katalysatorsupports bereits während der generativen Fertigung von Reaktoren.

Das Fraunhofer IMM ist bereits Mitglied im Arbeitskreis Leichtbau der Transferinitiative Rheinland-Pfalz, welcher sich intensiv mit dem Thema der additiven Fertigung beschäftigt, sowie im Arbeitskreis Mikroverfahrenstechnik der ProcessNet. Bei beiden hat das IMM seine Erfahrungen bei der Nutzung

additiver Fertigungsverfahren für die Realisierung metallischer mikro-/millistrukturierter Reaktoren eingebracht und bereits in der Vergangenheit verschiedene Lösungen im Rahmen von Messen präsentiert. Einsatzbereiche für die teilweise oder vollständig generativ gefertigten, meist mikrostrukturierten Apparate, insbesondere die chemischen Reaktoren, liegen vorwiegend in der Fein- und Spezialchemie sowie der Energietechnik, darunter Power-to-Liquid-Verfahren und Herstellung von Kraftstoffen und Chemikalien aus erneuerbaren Quellen. Die Bereitstellung von fertigungsgerechten 3D-CAM-Modellen ist essentieller Bestandteil.

Fraunhofer IMM beschäftigt sich vor allem anwendungsgetrieben mit den erweiterten Möglichkeiten, die generative Fertigungsverfahren bieten bei der Gestaltung von Reaktoren für den Einsatz in Anwendungsfeldern wie hochexotherme Fest-Flüssig-Reaktionen, elektrochemische Reaktionen, heterogen katalysierte Gasphasenreaktionen sowie Wärmeübertragung einschließlich Kondensation und Verdampfung.

Perspektivisch wird der 3D-Druck aber auch eine wichtige Rolle in der biomedizinischen Anwendung erreichen. Dort steht die möglichst geordnete und funktional komplexe Erzeugung von Organen bzw. Organmodellen im Vordergrund der Arbeiten.

### Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM

Prof. Dr. Gunther Kolb

☎: +49 6131 990-341

✉: [gunther.kolb@imm.fraunhofer.de](mailto:gunther.kolb@imm.fraunhofer.de)

### Fraunhofer Institute for Microengineering and Microsystems IMM

The Fraunhofer IMM, located in Mainz and currently employing approx. 130 people, researches and develops in the fields of energy and chemical technology (processes, reactors, plants) as well as analysis systems and sensors (methods, components, systems). The "microstructured process engineering and catalysis" is one of the two core competences of IMM, which is applied in the fields of energy, chemistry and functional materials.

The integrated approach of apparatus, process and plant development in conjunction with the utilization as well as the new and further development of advanced processes in the manufacture of microstructured devices guarantees sustained success in these business fields. These processes include laser ablation, laser welding and cutting, vacuum brazing, electroerosive processes, precision machining, embossing, roll embossing and wet chemical etching. For six years now and to an ever increasing extent, these manufacturing technologies have been supplemented by generative processes, in particular the use of Laser Powder Bed Fusion (LPBF) for the cost-effective manufacturing of special devices with microstructures preferably made of stainless steels or other corrosion-resistant metals. On the one hand, this gives access to apparatuses that would not be feasible conventionally or only with considerably greater effort. On the other hand, low-cost

small series production of frequently required devices such as heat exchangers is also possible.



*Main building of the IMM*

In cooperation with various well-known manufacturers and based on our own investigations, we have developed and constantly expanded the necessary know-how for the design of these apparatuses for production. The aim is to introduce catalysts or oxide catalyst supports in the future already during the generative production of reactors.

Fraunhofer IMM is already a member of the Lightweight Construction Working Group of the Transferinitiative Rheinland-Pfalz, which deals intensively with the topic of additive manufacturing, and of the Micro Process Engineering Working Group of ProcessNet. IMM has contributed its experience in the use of additive manufacturing processes for the realization of metallic micro-/milli-structured reactors to both of them and has already presented various solutions at trade

fairs in the past. Areas of application for the partially or completely generatively manufactured, mostly microstructured apparatuses, in particular the chemical reactors, are mainly in fine and special chemistry as well as energy technology, including power-to-liquid processes and the production of fuels and chemicals from renewable sources. The provision of production-ready 3D-CAM models is an essential component.

Fraunhofer IMM deals mainly application-driven with the extended possibilities offered by generative manufacturing processes in the design of reactors for use in fields of application such as highly exothermic solid-liquid reactions, electrochemical reactions, heterogeneous catalyzed gas phase reactions as well as heat transfer including condensation and evaporation.

In the future, 3D printing will also play an important role in biomedical applications. The main focus is on the organized and functionally complex production of organs and organ models.

**Fraunhofer Institute for Microengineering and Microsystems IMM**

Prof. Dr. Gunther Kolb

☎: +49 6131 990-341

✉: [gunther.kolb@imm.fraunhofer.de](mailto:gunther.kolb@imm.fraunhofer.de)

Voraussetzung zur Anwendung des pulverbettbasierten additiven Fertigungsverfahrens Laserstrahlschmelzen in der Serienfertigung ist eine gleichbleibende, nachvollziehbare Bauteilqualität. Eine zunehmende Prozessautomatisierung und der Einsatz anlagenintegrierter Sensorsysteme sollen zukünftig eine Prozessregelung zur Kompensation von Prozessunregelmäßigkeiten ermöglichen.

Für die Beurteilung der Gleichmäßigkeit der lokalen Schmelzbäder bei der Bauteilentstehung werden in den Strahlengang des Lasers integrierte Überwachungssysteme genutzt, die Bauteilfehler frühzeitig erkennen sollen. Beim System des Anlagenherstellers Concept Laser werden beispielsweise die Sensordaten einer Photodiode und einer im Infrarot-Bereich detektierenden Kamera mit hoher Frequenz abgetastet sowie zusammen mit den Soll-Positionen des Scanners gespeichert (vgl. Abb. 1). Mit einer Datenauswertung kann der Endkunde so bereits heute erste Kennzahlen, welche mit der Bauteilqualität korrelieren, ermitteln.

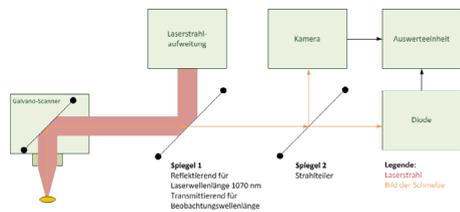


Abb. 1: Funktionsschema des Schmelzbadüberwachungssystems von Concept Laser

Die mit den Sensorsystemen aufgezeichneten Daten können direkt auf den Anlagenrechnern statistisch ausgewertet werden, für aufwändigere Analysen und zur dauerhaften Speicherung der Daten ist die Kommunikation mit einer Serverstruktur sinnvoll. Am Fraunhofer IWU Dresden werden derzeit Schnittstellen zum Datentransfer und die Synchronisation der Daten, dem Schema der Abb. 2 folgend, umgesetzt. Die heutigen Datenanalysemethoden werden um weitere statistische Methoden und künstliche Intelligenz (KI), insbesondere neuronale Netze, ergänzt, sodass die erzielte Bauteilqualität im Prozess beurteilt werden kann.

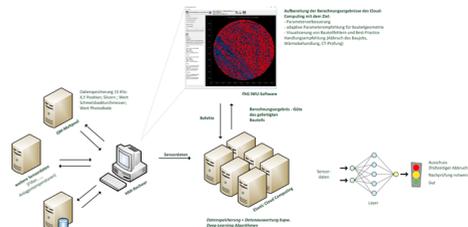


Abb. 2: Datenquellen und Architektur zur Fehlerklassifizierung

Die bisher mehrheitlich eingesetzten Methoden der symbolischen KI, bei der Regeln durch einen Programmierer definiert werden, führen bei nicht beachteten Ereignissen zum Fehlverhalten des Systems. Mit neuronalen Netzen als neuerem Ansatz werden die Regeln nicht mehr vom Programmierer definiert, sondern mittels einer Vielzahl von Algorithmen aus vorgegebenen Antworten erkannt [Chollet 2018]. Diese Vorgehens-

weise ist insbesondere bei Datenmengen relevant, die eine Extrahierung von Merkmalen zur Klassifizierung und zur Erkennung von Zusammenhängen aufgrund der Datenmenge nicht ohne weiteres zulassen. In den letzten Jahren konnten mit dieser Vorgehensweise große Fortschritte bei der Sprach- und Bilderkennung erzielt werden. Die Fortschritte bei der Methodik sind durch Open-Source-Frameworks und eine ausführliche Dokumentation zugänglich. Beispielfähig sind die Programmier-Frameworks TensorFlow, Caffe und Theano zu nennen, aber auch proprietäre Softwareprodukte wie Matlab und Mathematica machen die Methoden einer breiten Anwenderbasis zugänglich. Neben den genannten Tools wurde eine Vielzahl von Hilfsmitteln, insbesondere in den Programmiersprachen Python und R entwickelt, welche die Auswertung von großen Datenmengen mittels Statistik erlauben. Die Kombination der klassischen Statistik mit neuen Methoden zur Extrahierung von Merkmalen erlaubt dabei trotz immenser Datenmengen die Lösung komplexer Problemstellungen. Weiter wird die Methodik durch die aktuellen Entwicklungen der Rechen-technik beflügelt – die parallele Berechnung großer mehrdimensionaler Tensoren stellt mit den aktuellen spezifischen Chips (Tensor Processing Units) keinen Flaschenhals mehr dar.

Am Fraunhofer IWU wurden im Rahmen des AGENT-3D-Forschungsprojekts „Qualitäts-

management für die sichere und robuste additive Produktion“ bereits derartige Algorithmen zur Fehlerdetektion im Laser-Strahlschmelzprozess eingesetzt. Die Daten des Schmelzbadüberwachungssystems der Laser-Strahlschmelzanlage (Concept Laser M2 cusing mit QM Meltpool 3D) werden zur Erkennung von Prozess- und Bauteilfehlern verarbeitet. Die dabei zu analysierenden Datensätze umfassen mehrere Gigabyte pro Bauauftrag und machen Big-Data-Ansätze für einen Erkenntnisgewinn notwendig. Mittels klassischer Statistik und Machine-Learning-Cluster-Algorithmen konnte so die Bruchzone von Rundzugproben vorhergesagt werden (s. Abb. 3) Diese Arbeiten werden derzeit durch weitere Prüflose statistisch

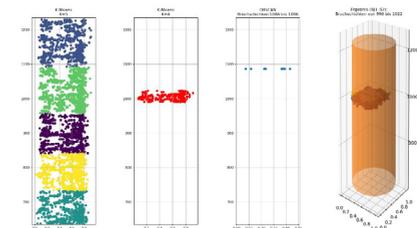


Abb. 3: Markierung von auffälligen Voxeln entlang der Prüfzone (links); Bruchzonenvorhersage anhand von zwei Clusteralgorithmen (Mitte); Visualisierung der Bruchzone (rechts)

abgesichert und danach veröffentlicht. Basierend auf Daten aus der Schmelzbadüberwachung sowie Computertomographie-Daten des erzeugten Bauteils wurde mit Hilfe neuronaler Netze ein Ansatz gefunden, mit dem Materialfehlstellen (Poren) im additiv gefertigten Bauteil bereits im Fertigungs-

prozess erkannt werden. Im konkreten Fall konnte das Netz eine Korrekturklassifizierungsrate von über 85 % bei runden Zugstäben erreichen (vgl. Abb. 4). Dieser Ansatz wird durch weitere Prüflose abgesichert und bietet ein hohes Optimierungspotential. Die Überführung der Methodik auf beliebig geformte Bauteile ist derzeit in Entwicklung.

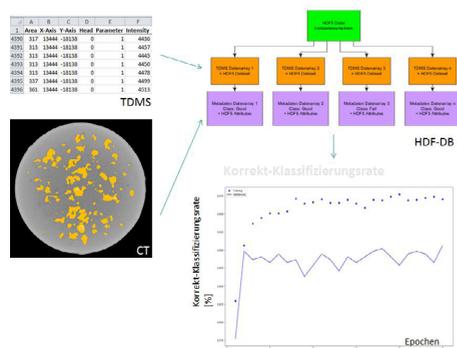


Abb. 4: Datenquellen, Datenstruktur und Klassifizierungsrate eines CNN [Jaretzki 2018]

## Literaturverzeichnis

[Chollet 2018] Chollet, F.; Lorenzen, K.: Deep Learning mit Python und Keras – Das Praxis-Handbuch vom Entwickler der Keras-Bibliothek. mitp-Verlag Frechen, 2018

[Jaretzki 2018] Jaretzki, M.; Anders, P.; Töppel, T.: Nutzung von In-Situ-Prozess-Monitoring-Systemen zur Fehlererkennung beim generativen Laser-Strahlschmelzen. In: Paul, L. et al (Hrsg.): Tagungsband 3D-NordOst 2018 – 21. Anwendungsbezogener Workshop zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten, Berlin, 6. und 7. Dezember 2018, GFaI e. V. Berlin, 2018, S. 43 - 52

A consistent, traceable component quality is prerequisite for the application of the powder bed-based additive manufacturing process laser beam melting in series production. Increasing process automation and the use of system-integrated sensor systems enable process control to compensate for process irregularities in the future.

Monitoring systems, integrated into the laser beam path, are used to assess the uniformity of the local melt pool during component formation. For example in the system of the equipment manufacturer Concept Laser, the sensor data of a photodiode and a camera detecting in the infrared range are scanned at high frequency and stored together with the target positions of the scanner (cf. Fig. 1). With a data evaluation, the end customer can already determine first performance indicators which correlate with the component quality.

server structure makes sense for more complex analyses and for permanent data storage. At Fraunhofer IWU Dresden, interfaces for data transfer and data synchronization are currently being implemented according to the scheme shown in Fig. 2. The current data analysis methods are supplemented by further statistical methods and artificial intelligence (AI), in particular neural networks, so that the achieved component quality can be assessed in the process.

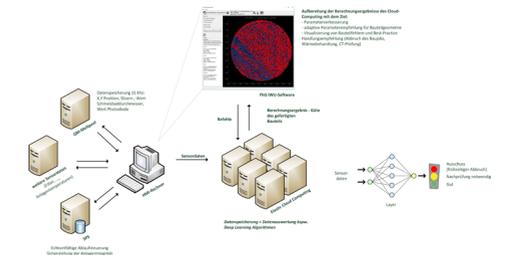


Figure 2: Data Sources and Architecture for Error Classification

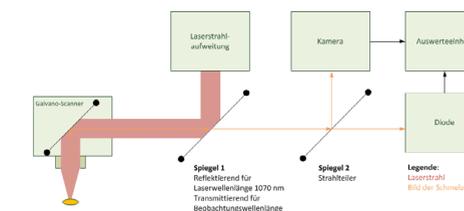


Figure 1: Functional diagram of the melt pool monitoring system of Concept Laser

The data recorded by the sensor systems can be statistically evaluated directly on the machine control system; communication with a

The methods of symbolic AI, in which rules are defined by a programmer, which have been used for the most part up to now, lead to system malfunction in case of ignored events. With neural networks as a more recent approach, the rules are no longer defined by the programmer, but are recognized by a large number of algorithms from predefined responses [Chollet 2018]. This procedure is particularly relevant for data sets that do not allow the extraction of characteristics for classification and for the recognition of correlations due to the sheer amount of data. In recent years, great progress has

**Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU**  
 Dipl.-Ing. Martin Jaretzki  
 ☎: +49 351 4772-2159  
 ✉: [martin.jaretzki@iwu.fraunhofer.de](mailto:martin.jaretzki@iwu.fraunhofer.de)

been made with this approach in voice and image recognition. The advances in methodology are accessible through open source frameworks and extensive documentation. Examples are the programming frameworks TensorFlow, Caffe and Theano, but also proprietary software products such as Matlab and Mathematica make the methods accessible to a broad user base. In addition to these tools, a variety of utilities have been developed, especially in the programming languages Python and R, which allow the evaluation of large amounts of data using statistics. The combination of classical statistics with new methods for the extraction of characteristics allows solution of complex problems despite immense amounts of data. Furthermore, the methodology is inspired by the current developments in computer technology - parallel calculation of large multi-dimensional tensors no longer represents a bottleneck with the current specific CPUs (tensor processing units).

At Fraunhofer IWU, such algorithms for defect detection in the laser beam melting process have already been used in the AGENT-3D research project "Quality management for safe and robust additive production". The data from the melt pool monitoring system of the powder bed fusion machine (Concept Laser M2 cusing with QM Meltpool 3D) are processed to detect process and component defects. The data sets to be analyzed comprise of several gigabytes per

build job and make Big Data approaches necessary to gain knowledge. By means of classical statistics and machine learning cluster algorithms, the fracture zone of round tensile specimens could be predicted (see Fig. 3).

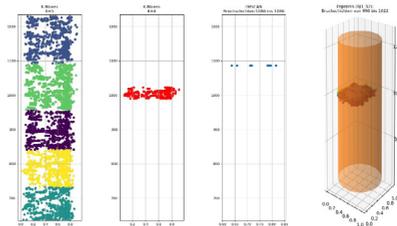


Figure 3: Marking of conspicuous voxels along the test zone (left); fracture zone prediction based on two cluster algorithms (center); visualization of the fracture zone (right)

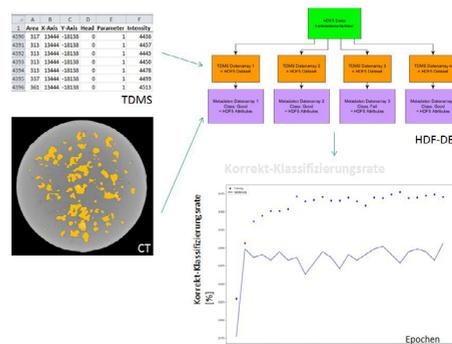


Figure 4: Data sources, data structure and classification rate of a CNN [Jaretzki 2018]

Based on data from the melt pool monitoring and computer tomography data of the produced component, an approach was found with the help of neural networks with which material defects (pores) in the addi-

tively produced component can be detected during the manufacturing process. In the specific me case, the network was able to achieve a correct classification rate beyond 85 % for round tensile test bars (cf. Fig. 4). This approach is backed up by further inspection lots and offers a high optimization potential. The transfer of the methodology to complex shaped components is currently under development.

### Literature:

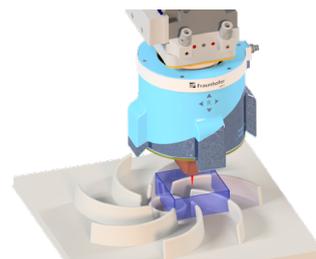
[Chollet 2018] Chollet, F.; Lorenzen, K.: Deep Learning mit Python und Keras – Das Praxis-Handbuch vom Entwickler der Keras-Bibliothek. mitp-Verlag Frechen, 2018

[Jaretzki 2018] Jaretzki, M.; Anders, P.; Töppel, T.: Nutzung von In-Situ-Prozess-Monitoring-Systemen zur Fehlererkennung beim generativen Laser-Strahlschmelzen. In: Paul, L. et al (ed.): Proceeding 3D-NordOst 2018 – 21. Anwendungsbezogener Workshop zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten, Berlin, Dezember 6 and 7, 2018, GFal e. V. Berlin, 2018, pp. 43 - 52

### Roboter können sich in alle Richtungen bewegen – aber nicht in alle Richtungen sehen. Der SensePRO-Lasersensor der Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT schafft Abhilfe.

Wo bin ich? Diese Frage müssen auch Roboter beantworten, wenn sie unermüdlich Werkstücke kleben, schweißen oder Dichtungen einsetzen. Denn nur wenn die Robotersteuerung auf den Millimeter genau weiß, an welcher Stelle sich der Klebe- oder Schweißkopf gerade befindet, ist das Endergebnis präzise. Auch wenn exakt kalibrierte Roboter die erforderliche Positionsgenauigkeit erfüllen, ist auf Grund von Toleranzen und Ungenauigkeiten vorgelagerter Prozessschritte ein Auge notwendig. In der Automobilindustrie und vielen weiteren hoch automatisierten Branchen übernehmen das spezielle Sensoren, die mehrheitlich auf dem Prinzip der Lasertriangulation basieren. Eine Laserdiode wirft eine Linie aus rotem Licht auf das Werkstück, von dort wird das Licht unter einem bestimmten Winkel reflektiert und in einer Kamera detektiert. Aus der Position, von der das Licht auf den Kamerachip trifft, lassen sich die Position und die Entfernung des Sensors zum Werkstück mittels Bildbearbeitungsalgorithmen bestimmen. Dabei gibt es jedoch ein Problem: »Die bestehenden Sensoren sind durch Abschattungen in ihrer Flexibilität begrenzt, schränken zusätzlich die Bewegungsfreiheit der Robotersysteme ein und führen zu einem hohen Integrationsaufwand«, sagt Giovanni-Piero Scurria, Technology Development

Team, der Volkswagen AG. In der Industrie werden diese Sensoren üblicherweise an einer Seite vom Prozesskopf befestigt, was bei einer Änderung der Bewegungsrichtung des Roboters dazu führt, dass keine Regelung der Position mehr möglich ist. Die daraus entstehende Festlegung auf genau eine Bearbeitungsrichtung schränkt die Flexibilität des Handhabungssystems deutlich ein!



*SensePRO-Sensorik ermöglicht eine 360°-Rundumsicht für die Prozessregelung und Qualitätssicherung*

Malte Buhr und sein Team am Fraunhofer IAPT haben eine innovative Lösung entwickelt, die die Defizite der vorhandenen Sensoren überwindet, um den breiten Einsatz solcher Sensoren für die industrielle Automatisierung zu realisieren. Die Neuheit dieses Sensors bietet ein schattenfreies 360°-Messfeld um den Bearbeitungskopf und damit einen richtungsunabhängigen Rundumblick. Die Flexibilität des Roboters wird somit nicht eingeschränkt. Abgerundet wird der Sensor

durch einen speziell entwickelten Bildverarbeitungsalgorithmus und ein intelligentes Thermomanagement für den Sensoreinsatz bei thermischen Prozessen.

SensePRO wird über EXIST, ein Förderprogramm vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), gefördert. Der Funktionsprototyp von SensePRO wird derzeit am Fraunhofer IAPT zur Closed-Loop-Prozessregelung und Qualitätssicherung beim Laserauftragschweißen, einem roboter-basierten additiven Fertigungsprozess, evaluiert. Dank seiner Modularität in Hard- und Software lässt sich dieser Sensor leicht an unterschiedlichste Anwendungen anpassen und mühelos für verschiedene Robotersteuerungen konfigurieren. Dadurch kann der Sensor zukünftig problemlos in bestehende Produktionssysteme integriert werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Europäische Union

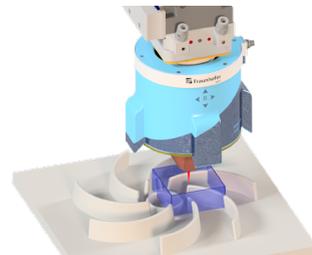


**Robots can move – but cannot see – in all directions. The SensePRO sensor developed at the Fraunhofer Research Institution for Additive Manufacturing Technologies IAPT provides a solution for this problem.**

Where am I? Like humans, robots need to answer this question as well, while they tirelessly weld, glue or apply seals to workpieces. The manufacturing precision depends on the robot's positional accuracy and its control system, which needs to know the location of processing head and workpiece to the nearest micrometer at all times. Even though a precisely calibrated robot can achieve the required positional accuracy, the manufacturing tolerance and inaccuracies of the workpiece from upstream processes arises the need of some sort of an eye for the robot, which tells it where to go. In the automotive industry and many other sectors that are highly automated through robots, specialized sensors perform this function. Most of these sensors are designed exploiting the principle of laser triangulation, in which a laser of pre-determined wavelength is projected onto the workpiece which is then reflected and captured on a camera. The position of the workpiece is then determined through image processing algorithms, by correlating it to the position of the reflected laser light in the camera. However, there is a problem with such systems: "Sensors restrict the freedom of movement of today's industrial robots and their integration in the processes is time- and cost-intensive. Additionally, shadowing effects constrain

the usage of existing sensor systems", says Giovanni-Piero Scurria, Technology Development Team, at Volkswagen AG.

The present industrial standard is to mount one of those sensors along the side of the processing head, which makes the robot blind when it changes its direction of motion. Having to predefine the processing direction significantly limits the flexibility of the robot!



*SensePRO sensor offers a 360° measurement field for a closed-loop control and quality assurance*

Malte Buhr and his team at Fraunhofer IAPT have developed an innovative solution addressing the shortcomings of the existing sensors to realize widespread use of such sensors for industrial automation. The novelty of this sensor provides a shadowless, 360° measurement field around the processing head, thereby offering complete dexterity of the robot and all round field of view. The specifications of the sensor are rounded out by a specially developed

image processing algorithm and an intelligent thermal management system for high temperatures.

SensePRO is funded through EXIST, a support programme of the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). The functional prototype of SensePRO is currently under testing at Fraunhofer IAPT for in-process control and quality assurance of laser metal deposition, a robot-based additive manufacturing process. Thanks to its modularity in hardware and software, this sensor can be easily adapted for a wide range of applications and effortlessly configured for various robot controllers. As a result, it can be easily integrated into existing production systems.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Dresdner Fraunhofer-Institut bündelt Technologien für die Additive Fertigung unter einem Dach

Am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden wurde am 7.3.2019 das »Innovation Center Additive Manufacturing«, kurz ICAM, eingeweiht. Hier vereint das Dresdner Forschungsinstitut verschiedene Technologien für die Additive Fertigung in einer neu errichteten Technologiehalle, um zukünftig Partnern und Anwendern unter einem Dach vielfältige Möglichkeiten zur generativen Fertigung von dreidimensionalen Bauteilen demonstrieren zu können.

Im neu eröffneten ICAM finden sich mehrere Anlagen zum Selektiven Elektronenstrahlschmelzen (Selective Electron Beam Melting – SEBM), darunter die Q20plus des schwedischen Herstellers ARCAM EBM. Dabei handelt es sich um die Anlage mit dem größten derzeit verfügbaren Bauraum für SEBM. Selektives Elektronenstrahlschmelzen ist ein pulverbasierter Prozess für die generative Fertigung dreidimensionaler Bauteile. Das Pulverbett wird schichtweise selektiv durch den Elektronenstrahl aufgeschmolzen. Für das Verfahren sind keine zusätzlichen Werkzeuge oder Formen notwendig und Designs sind nahezu frei umsetzbar. Ein weiterer Vorteil ist, dass SEBM besonders rohstoffschonend ist.

Daneben wird in den kommenden Wo-

chen die sogenannte AMCC-Line (Additive Manufacturing Complete and Compact) hier aufgebaut, eine prototypische Fertigungslinie für 3D-Bauteile mittels Filamentdruck (Fused Filament Fabrication - FFF). Während dieses Verfahren für die generative Fertigung von Kunststoffbauteilen bekannt ist, erweitert das Fraunhofer IFAM die Werkstoffpalette nun auf metallische Bauteile, die bisher nicht möglich waren. Damit ist ein deutlich größeres Anwendungsspektrum möglich. Mit dieser entscheidenden Weiterentwicklung kann das Institut sein langjähriges Knowhow im Bereich der Pulvermetallurgie in ein bekanntes Verfahren einbringen und so erprobte Prozesse mit neuen Werkstoffen kombinieren.

Nicht zuletzt stehen am Fraunhofer IFAM in Dresden mehrere Anlagen für den dreidimensionalen Siebdruck von Bauteilen zur Verfügung, darunter die weltweit modernste im F&E-Bereich. Bei dieser Weiterentwicklung des klassischen industriellen Siebdrucks wird eine auf Metallpulvern basierende Paste schichtweise übereinander in die dritte Dimension gedruckt. Im Vergleich zu anderen generativen Fertigungsverfahren ermöglicht der dreidimensionale Siebdruck eine höhere Feinheit und ist ein echtes Massenfertigungsverfahren. Die nutzbaren Werkstoffe können hierbei frei im Bereich der metallischen und

keramischen Werkstoffe gewählt und gegebenenfalls kombiniert werden.

Ergänzt wird das Portfolio durch den dreidimensionalen Schablonendruck. Im Unterschied zum Siebdruck werden statt des Drucksiebtes strukturierte Metallfolien zur Bauteilgenerierung genutzt. Vorteile des 3D-Schablonendruckes gegenüber dem 3D-Siebdruck liegen in der potentiell besseren Oberflächengüte und einer erhöhten Schichtdicke.

Mit der Eröffnung des Innovation Center Additive Manufacturing hat das Fraunhofer IFAM Dresden den erfolgreichen Entwicklungen des Institutes im Bereich des Additive Manufacturing in den letzten Jahren Rechnung getragen und baut seine Kompetenz im Bereich der Additiven Fertigung weiter aus. Durch die verschiedenen Technologien an einem Ort können passgenaue Lösungen für die unterschiedlichsten Fragestellungen aus einer Hand angeboten werden.

Das Institut bietet Partnern aus Industrie und Forschung vielfältige Entwicklungsleistungen vom Pulver bis zum Bauteil, z. B. in Form von Machbarkeitsstudien, der Bewertung von Pulvern für die additive Fertigung und der Qualifizierung neuer Werkstoffe. Weiterhin ist die Bauteilentwicklung beginnend beim Pulver und weiterführend über die Konstruktion (z. B. Topologieoptimierung zur Gewichtseinsparung und/oder Bauteilinteg-

ration) bis zur Herstellung und Nachbearbeitung Bestandteil des Angebotes.

Gemeinsam mit den Kolleginnen und Kollegen vom Standort Bremen des Fraunhofer IFAM, die zusätzlich die additiven Fertigungstechnologien Metal Binder Jetting und Laser Beam Melting im Portfolio haben, verfügt das Fraunhofer IFAM damit über eine der umfangreichsten Technologiepaletten im Bereich Additive Manufacturing für Metalle.

Frei nach dem Motto: »If AM – then IFAM«.

**Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM**

Dr. Burghardt Klöden

☎: +49 351 2537-384

✉: [burghardt.kloeden@ifam-dd.fraunhofer.de](mailto:burghardt.kloeden@ifam-dd.fraunhofer.de)

## Dresden Fraunhofer Institute bundles additive manufacturing technologies under one roof

At the Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Applied Materials Research IFAM in Dresden, the »Innovation Center Additive Manufacturing« (ICAM) was inaugurated on March 7, 2019. Here, the Dresden Research Institute combines various technologies for additive manufacturing in a newly constructed technology hall in order to be able to demonstrate to partners and users a wide range of possibilities for the generative manufacturing of three-dimensional components under one roof in the future.

The newly opened ICAM houses several Selective Electron Beam Melting (SEBM) systems, including the Q20plus from the Swedish manufacturer ARCAM EBM. This is the system with the largest installation space currently available for SEBM. Selective electron beam melting is a powder-based process for the generative production of three-dimensional components. The powder bed is selectively melted in layers by the electron beam. No additional tools or moulds are required for the process and designs can be implemented almost freely. Another advantage is that SEBM is particularly gentle on raw materials.

In addition, the AMCC line (Additive Manufacturing Complete and Compact), a prototype production line for 3D com-

ponents using filament printing (Fused Filament Fabrication - FFF), will be set up here in the coming weeks. While this process is known for the generative production of plastic components, Fraunhofer IFAM is now expanding its range of materials to include metallic components that were previously not possible. This makes a much wider range of applications possible. With this decisive further development, the institute can contribute its many years of know-how in the field of powder metallurgy to a well-known process and, thus, combine tried and tested processes with new materials.

Last but not least, the Fraunhofer IFAM in Dresden has several systems at its disposal for three-dimensional screen printing of components, including the world's most modern in the R&D field. In this further development of classical industrial screen printing, a paste based on metal powders is printed layer by layer on top of each other in the third dimension. In comparison to other generative manufacturing processes, three-dimensional screen printing enables higher fineness and is a genuine mass production process. The materials that can be used can be freely selected and, if necessary, combined in the area of metallic and ceramic materials.

The portfolio is supplemented by three-dimensional stencil printing. In contrast to screen printing, structured metal foils are used instead of the printing screen to generate components. Advantages of 3D stencil printing compared to 3D screen printing are the potentially better surface quality and an increased layer thickness.

With the opening of the Innovation Center Additive Manufacturing, Fraunhofer IFAM Dresden has taken into account the successful developments of the institute in the field of additive manufacturing in recent years and is further expanding its competence in the field of additive manufacturing. The various technologies at one location enable us to offer tailor-made solutions for a wide range of problems from a single source.

The institute offers partners from industry and research a wide range of development services from powder to component, e.g. in the form of feasibility studies, the evaluation of powders for additive production and the qualification of new materials. Furthermore, component development, starting with powder and continuing through design (e.g. topology optimization for weight reduction and/or component integration) to production and post-processing, is part of the offer.

Together with the colleagues from the Fraunhofer IFAM Bremen site, who also have

the additive manufacturing technologies Metal Binder Jetting and Laser Beam Melting in their portfolio, the Fraunhofer IFAM thus has one of the most comprehensive technology ranges in the field of additive manufacturing for metals.

True to the motto: »If AM – then IFAM«.

**Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM**

Dr. Burghardt Klöden

☎: +49 351 2537-384

✉: [burghardt.kloeden@ifam-dd.fraunhofer.de](mailto:burghardt.kloeden@ifam-dd.fraunhofer.de)

Das selektive Elektronenstrahlschmelzen (SEBM) ist ein pulverbettbasiertes additives Fertigungsverfahren zur Herstellung formkomplexer metallischer Bauteile. Industriell eingeführt ist es bislang vor allem zur Verarbeitung von Werkstoffen auf Titanbasis in den Branchen Luftfahrt und Medizintechnik.

Die Vorteile des SEBM für metallische Bauteile liegen insbesondere in den Pulvern und einer weitgehenden Freiheit hinsichtlich Bauteilgestaltung und Werkstoffauswahl. So liegen die Pulverkosten deutlich unterhalb der Preise, die für laserstrahlbasierte Verfahren anfallen. Auch können Abweichungen in der Partikelform besser toleriert werden. Durch das gezielte Vorheizen des Pulverbettes bis auf Temperaturen von über 1000 °C besteht eine verringerte Neigung zu Eigenspannungen und somit zum Bauteilverzug. Daher müssen die vergleichsweise kurzen Stützstrukturen nicht bis zur Startplatte angebunden werden. Die sich hieraus ableitende Möglichkeit Bauteile komplexer zu gestalten und zu stapeln, macht das SEBM zu einem produktiven additiven Verfahren.

Ein weiterer Vorteil der erhöhten Pulverbetttemperaturen ist insbesondere die Verarbeitbarkeit auch schwer schweißbarer Werkstoffe und somit eine Erweiterung der Werkstoffpalette gängiger strahlbasierter Verfahren. Ein besonderes Potential liegt daher in der Verarbeitung von Stählen für Anwendungen im Maschinen- und Anla-

genbau sowie im Werkzeugbau. Im neu eröffneten „Innovation Center Additive Manufacturing ICAM“ am Standort Dresden arbeitet das Fraunhofer IFAM gemeinsam mit Industriepartnern in verschiedenen Projekten an diesem attraktiven Themenkomplex.

Die additive Verarbeitung korrosionsbeständiger Stähle durch SEBM zu Bauteilen mit innenliegenden Strukturen wurde bereits mehrfach erfolgreich demonstriert. Im Projekt AGENT-3D\_FunGeoS\* wurde dazu das Gehäuse eines servohydraulischen Ventils fertigungsgerecht neu konstruiert und in austenitischem Edelstahl realisiert (Abbildung 1). Durch SEBM entsteht ein spezifisches Gefüge mit vorteilhaften mechanischen Eigenschaften. Die additive Verarbeitung von Duplexstahl und der Aufbau von Pumpenlaufrädern sind ein Schwerpunkt des Projektes RessFAST\*.



Abb. 1: Mit SEBM additiv gefertigtes, topologieoptimiertes Ventilgehäuse (Design aus Kooperation mit Bosch und TU Dresden)

Aus der wichtigen Klasse der Werkzeugstähle wurden im Projekt AddMaTs\* jeweils ein Kaltarbeitsstahl und ein Schnellarbeitsstahl

qualifiziert. Die Herausforderung bei diesen Werkstoffen besteht in der Vermeidung von Rissen dieser stark kohlenstoffhaltigen Werkstoffe. Der verarbeitete Werkstoff zeichnet sich durch ein feines und homogenes Gefüge aus. Die Wärmebehandlung kann in analoger Weise zum konventionell verarbeiteten Stahl erfolgen und bietet daher eine gute Basis für die Hybride Fertigung. Ein weiterer Entwicklungsgegenstand sind hoch hartstoffhaltige Legierungen für Anwendungen, die besondere Verschleißfestigkeit erfordern. Die Untersuchungen betrachten schließlich auch die Grenzen der realisierbaren Geometrien, wie Wandstärken, Kanaldurchmesser und Überhangwinkel.

*\* Projekte AGENT-3D\_FunGeoS, RessFAST und AddMaTs sind gefördert vom BMBF*

Selective Electron Beam Melting (SEBM) is a powder bed-based additive manufacturing process for the production of complex metallic components. It has so far been industrially introduced primarily for the processing of titanium-based materials in the aerospace and medical technology sectors.

The advantages of SEBM for metallic components lie in particular in the powders and a high degree of freedom with regard to component design and material selection. Powder costs, for example, are significantly lower than the prices for laser beam-based processes. Deviations in particle shape can also be better tolerated. The targeted preheating of the powder bed to temperatures of over 1000 °C reduces the tendency to residual stresses and, thus, to component distortion. Therefore, the comparatively short support structures do not have to be tied up to the starting plate. The resulting possibility of making components more complex and stacking them makes SEBM a productive additive process.

A further advantage of the increased powder bed temperatures is in particular the processability of materials that are difficult to weld and, thus, an extension of the range of materials used in common beam-based processes. Therefore, a special potential lies in the processing of steels for applications in mechanical and plant engineering as well as in tool making. In the newly opened

**Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM**

Dr. Burghardt Klöden

☎: +49 351 2537-384

✉: [burghardt.kloeden@ifam-dd.fraunhofer.de](mailto:burghardt.kloeden@ifam-dd.fraunhofer.de)

"Innovation Center Additive Manufacturing ICAM" in Dresden, Fraunhofer IFAM is working together with industrial partners in various projects on this attractive complex of topics.

The additive processing of corrosion-resistant steels by SEBM into components with internal structures has already been successfully demonstrated several times. In the AGENT-3D\_FunGeoS\* project, the housing of a servo-hydraulic valve was redesigned for production and realized in austenitic stainless steel (Figure 1). SEBM creates a specific structure with advantageous mechanical properties. The additive processing of duplex steel and the construction of pump impellers are a focal point of the RessFAST\* project.



Figure 1: Topology-optimized valve body manufactured with SEBM (design in cooperation with Bosch and TU Dresden)

From the important class of tool steels, one cold work steel and one high-speed steel were qualified in the AddMaTs\* project. The challenge with these materials is to avoid cracking of these high carbon materials.

The processed material is characterized by a fine and homogeneous microstructure. Heat treatment can be carried out in a similar way to conventionally processed steel and, therefore, provides a good basis for hybrid production. Another development object is alloys with a high hard material content for applications requiring special wear resistance. Finally, the investigations also consider the limits of realizable geometries, such as wall thicknesses, channel diameters and overhang angles.

\* Projects AGENT-3D\_FunGeoS, RessFAST and AddMaTs are funded by BMBF

### Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM

Dr. Burghardt Klöden

☎: +49 351 2537-384

✉: burghardt.kloeden@ifam-dd.fraunhofer.de

## Kundenspezifische Trainingsangebote erleichtern den Einstieg in Additive Verfahren

Internes Wissen zu additiven Verfahren ist ein kritischer Faktor bei der Einführung dieser Technologien. Um das Potenzial der additiven Technologien im Design und der Produktion nutzen zu können, ist spezifisches Wissen erforderlich. Deshalb bietet das Fraunhofer IGCV Trainingskonzepte für firmenspezifische Schulungen und individuelle Weiterbildungen an.



Abb. 1: Zielgruppen und Wissensbedarf zu AM-Technologien im Unternehmen

Wie Abbildung 1 zeigt, gibt es innerhalb eines Unternehmens unterschiedliche Zielgruppen für die Weiterbildung zu AM-Technologien. Auf Grund der hohen medialen Präsenz des Themas „Additive Verfahren“ interessieren sich zahlreiche Mitarbeiter grundsätzlich für diese Technologien. Hierfür sollten einfach zugängliche Technologieinformationen bereitgestellt werden (bspw. über Intranet). Darüber hinaus gibt es unterschiedliche Zielgruppen aus verschiedenen Bereichen, die zukünftig Aufgaben im Bereich AM-Technologien wahrnehmen und hierfür entsprechendes Wissen benötigen. Für diese Zielgruppen bietet sich ein spezi-

fisches Training zu den jeweiligen Themenschwerpunkten an. Schließlich gibt es einige wenige Technologie-Experten im Unternehmen, die täglich mit diesen Technologien arbeiten und über spezialisiertes Fachwissen verfügen. Da die Entwicklung der AM-Technologien zügig voranschreitet, sind für diese Experten detaillierte Trainings zum jeweiligen Fachgebiet notwendig.

Für diesen Bedarf bietet das Fraunhofer IGCV zahlreiche Trainings und Seminare an. Gemeinsam mit der Fraunhofer Academy und dem Fraunhofer IFAM, Dresden, wird die Seminarreihe „Additive Fertigung“ ([www.academy.fraunhofer.de/additivefertigung](http://www.academy.fraunhofer.de/additivefertigung)) angeboten. In drei jeweils zweitägigen Seminaren werden die Themen „Grundlagen der Additiven Fertigung und Implementierung“, „Vertiefungsseminar Laserstrahlschmelzen“ und „Vertiefungsseminar Elektronenstrahlschmelzen“ angeboten. Neben diesen Seminaren für individuelle Weiterbildungen, werden auch firmenspezifische Schulungskonzepte entwickelt und umgesetzt. Auch die zukünftige Entwicklung im Bereich Weiterbildung wird durch das Fraunhofer IGCV vorangetrieben. Im EU-Projekt CLLAIM ([cllaimprojectam.eu](http://cllaimprojectam.eu)) werden Ausbildungsinhalte auf Techniker-Level für verschiedene AM-Technologien definiert. Gemeinsam mit dem Fraunhofer ILT, Fraunhofer IWS und

Fraunhofer IAPT wird derzeit das „Fraunhofer Metal-AM-Expert Zertifikat“ entwickelt. Im Rahmen dieses Programms wird umfassendes Wissen zur metallbasierten additiven Fertigung für die Bereiche Design und Produktion vermittelt und ein qualifizierender Abschluss erworben. Das Programm startet ab Q1/2020.



Abb. 2: Schulung zum Additiven Design am Fraunhofer IGCV

## Customized training concepts accelerate implementation of additive manufacturing (AM)

Internal knowledge is a crucial factor when it comes to the implementation of additive technologies within a company. To leverage the potential of these additive manufacturing processes in design and production, detailed know-how is needed. Fraunhofer IGCV therefore developed a training concept for additive technologies covering specialized company trainings as well as trainings for individuals.



Figure 1: Different target groups and need of know-how in additive technologies.

As figure 1 shows, there are different target groups for setting up knowledge within a company. Because “Additive Manufacturing” (AM) is a highly visible topic in the media, several employees are interested in additive technologies on a base level. Here an easy-to-access information should be offered, e.g. via the company’s intranet site. On the next level, there are specific target groups consisting of employees from different departments and professions that will be in contact with additive technologies in more

detail. Here a profound training is necessary to provide the needed knowledge base in additive technologies to enrich their skills for future AM tasks. On the highest level are the experts of additive technology, that are mainly dealing with AM in their day-to-day-business. On this level, comprehensive trainings on specialized topics are required. Fraunhofer IGCV offers a wide range of trainings and seminars. Together with the Fraunhofer Academy and Fraunhofer IFAM, Dresden, the seminar series “Additive Manufacturing” ([www.academy.fraunhofer.de/additivefertigung](http://www.academy.fraunhofer.de/additivefertigung)) was established. Three two-day seminars covering the topics of “Basics of Additive Manufacturing and Implementation”, “In-depth Seminar Laser Beam Melting” and “In-depth Seminar Electron Beam Melting” are offered. Besides these seminar offerings for individuals, company specific training concepts are developed and implemented.

Moreover, Fraunhofer IGCV is driving future education concepts in additive manufacturing. In the EU-funded project CLAIM ([claimprojectam.eu](http://claimprojectam.eu)) training requirements on the level of technicians (e.g. machine operator) for different AM technologies will be defined. Together with Fraunhofer ILT, Fraunhofer IWS and Fraunhofer IAPT the “Fraunhofer Metal AM Expert Certificate” is developed. This training program offers comprehensive knowledge in metal AM design and production including a gradu-

ation certificate. The program will start in Q1/2020.



Figure 2: Training on additive design at the Fraunhofer IGCV

**Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV**

M. Sc. Matthias Schneck

☎: +49 821 90678-140

✉: [matthias.schneck@igcv.fraunhofer.de](mailto:matthias.schneck@igcv.fraunhofer.de)

**Fraunhofer Research Institution for Casting, Composite and Processing Technology IGCV**

M. Sc. Matthias Schneck

☎: +49 821 90678-140

✉: [matthias.schneck@igcv.fraunhofer.de](mailto:matthias.schneck@igcv.fraunhofer.de)

## 3D-Drucktechnologien für Hartmetalle – anspruchsvolle Entwicklungen am Fraunhofer IKTS

3D-Druck oder additive Fertigung im Allgemeinen ist heutzutage für Polymere und die meisten Metalle üblich. Es ist in der Industrie weit verbreitet. Für schwer zu verarbeitende Materialien wie Keramik oder Verbundwerkstoffe wie Cermets und Hartmetalle (HM) ist der 3D-Druck jedoch noch nicht vollständig entwickelt. Am Fraunhofer IKTS wurden in den letzten Jahren verschiedene 3D-Drucktechnologien für diese Materialien erfolgreich entwickelt, um den 3D-Druck auch für Anwendungen wie Verschleißteile, Zerspanungswerkzeuge und andere Anwendungen zu nutzen.

### Hartes und weniges Metall

Im Gegensatz zu ihren Namen bestehen Hartmetalle und Cermets nur aus einer kleinen Menge Metall (6 bis 20 Gew.-% Co, Ni und/oder Fe), aber einer größeren Menge der keramischen Hartphase (WC, TiC, TiCN). Somit können nur zweistufige Prozesse, bestehend aus dem Drucken von Grünteilen und dem anschließenden Sintern, eingesetzt werden. Durch Materialkompetenz, pulvertechnologisches Wissen sowie hervorragende verfahrenstechnische Fähigkeiten am Fraunhofer IKTS kann die gesamte Prozesskette von der Pulverauswahl über die Druckmedienaufbereitung, den eigentlichen Druck, das Sintern bis hin zu Postprozessen realisiert werden.

### Unterschiedliche Ansätze - ein Ziel

Für den 3D-Druck von Hartmetallen und Cermets wurden drei verschiedene 3D-Drucktechnologien angepasst und entwickelt: Schmelzfilamentherstellung (FFF), Binder Jetting (BJ) und der thermoplastische 3D-Druck (T3DP).

FFF ermöglicht die Herstellung von sehr dichten Grünteilen mit hoher Feststoffbelastung und realisiert damit nahezu alle handelsüblichen Hartmetallzusammensetzungen. Die Auflösung ist jedoch recht grob und aufgrund des filamentweisen Druckansatzes ist die Komplexität der Druckteile begrenzt. Mit Binder Jetting kann eine schnelle pulverbasierte Drucktechnologie angewendet werden. Die produzierten Grünteile weisen jedoch eine geringere Rohdichte auf, was zu einer höheren Schrumpfung bis zur Volldichte führt. Daher können nur Hartmetallzusammensetzungen mit einem höheren Metallgehalt verwendet werden. T3DP ist wie FFF eine suspensionsbasierte 3D-Drucktechnologie, die eine breite Palette von Hartmetallkompositionen sowie komplex geformte Teilegeometrien ermöglicht. Verschiedene Geometrien (Abb. 1) und Mikrostrukturen (Abb. 2) können realisiert werden, die alle die im Wesentlichen benötigte Volldichte, eine hohe Härte und gutes Verschleißverhalten kombinieren.

## Ergebnisse und Ausblick für AM von HM

Mit den vorliegenden Ergebnissen bietet das Fraunhofer IKTS mehrere 3D-Drucktechnologien für Hartmetalle mit einer möglichen Härte von bis zu 1700 HV10 und Biegefestigkeitswerten von bis zu > 3000 MPa. Gemeinsam mit Industriepartnern wird das Fraunhofer IKTS die oben genannten und neue 3D-Drucktechnologien für eine breitere Palette von Hartmetallen und auch Cermet-Zusammensetzungen weiterentwickeln.

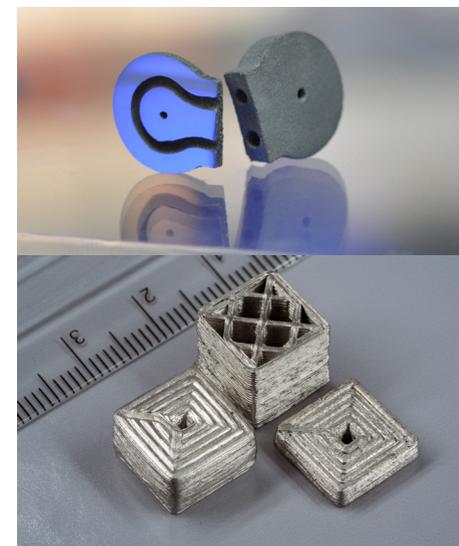


Abb. 1: BJ (oben) und FFF (unten) bedruckte Hartmetallteile (© Fraunhofer IKTS)

### Literatur:

U. Scheithauer, J. Pötschke, S. Weingarten, E. Schwarzer, A. Vornberger, T. Moritz, A. Michaelis: Droplet-Based Additive Manufacturing of Hard Metal Components by Thermoplastic 3D Printing (T3DP), Journal of Ceramic Science and Technology, [8], 155-

160, [2017].

J. Pötschke, C. Berger, H.-J. Richter, U. Scheithauer, S. Weingarten: ADDITIVE MANUFACTURING OF HARDMETALS, Proceedings of European Powder Metallurgy Congress 2017, 2017, Milano

C. Berger, J. Pötschke, A. Abel, H.-J. Richter, U. Scheithauer, S. Weingarten: Additive Manufacturing of WC-Co Based Tools, Proceedings of 11th TOOLING 2019 conference, 2019, Aachen

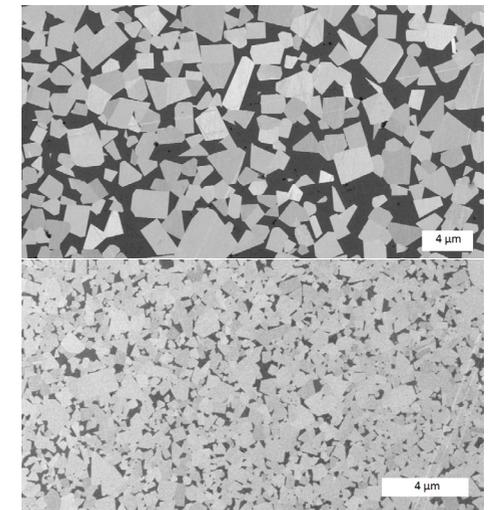


Abb. 2: Gefügebilder von BJ (oben) und FFF (unten) 3D gedruckten WC-Co-Geometrien (© Fraunhofer IKTS)

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Dr.-Ing. Johannes Pötschke

☎: +49 351 2553-7641

✉: [johannes.poetschke@ikts.fraunhofer.de](mailto:johannes.poetschke@ikts.fraunhofer.de)

### 3D printing technologies for hard metals – challenging developments done at Fraunhofer IKTS

3D printing or additive manufacturing in general is nowadays common for polymers and most metals. It is widely used in industry. However, for materials difficult to process materials like ceramics or composites like cermets and hard metals (HM), 3D printing is still not fully developed. At Fraunhofer IKTS, different 3D printing technologies have been successfully developed within the last years for these materials to use 3D printing also for applications such as wear parts, machining tools and other applications.

#### Hard and not much metal

Contradictory to their name, hard metals and cermets only consist of a small amount of metal (6 to 20 wt.-% Co, Ni and/or Fe) but a larger amount of the ceramic hard phase (WC, TiC, TiCN). Thus, only two stage processes consisting of printing of green parts and subsequent sintering can be used. Due to material expertise, powder technology knowledge as well as excellent process engineering skills at Fraunhofer IKTS the whole process chain starting with the powder selection, print medium preparation, the actual printing, sintering as well as post processes can be realized.

#### Different approaches – one aim

For 3D printing of hard metals and cermets three different 3D printing technologies were

adapted and developed: Fused Filament Fabrication (FFF), Binder Jetting (BJ) and the Thermoplastic 3D Printing (T3DP).

FFF allows to produce quite dense green parts with a high particle loading and realizes thus nearly all commercially sold hard metal compositions. However, its resolution is quite coarse and, due to the filament-wise printing approach, the complexity of printed parts is limited.

With Binder Jetting, a fast powder based printing technology can be applied. However, produced green parts have a lower green density, resulting in a higher shrinkage to reach full density. Thus, only hard metal compositions with a higher metal content can be used.

T3DP is like FFF a suspension based 3D printing technology, allowing a wide range of hard metal compositions as well as complex shaped part geometries.

Different geometries (figure 1) and microstructures (figure 2) can be realized, which all combine the essentially needed full density, high hardness and superior wear behaviour.

#### Results and outlook for AM of HM

With the present results, Fraunhofer IKTS offers several 3D printing technologies for hard metals with possible hardness up to

1700 HV10 and bending strength values of up to > 3000 MPa. Together with industrial partners, Fraunhofer IKTS will further develop the above mentioned and new 3D printing technologies for a wider range of hard metals and also cermet compositions.

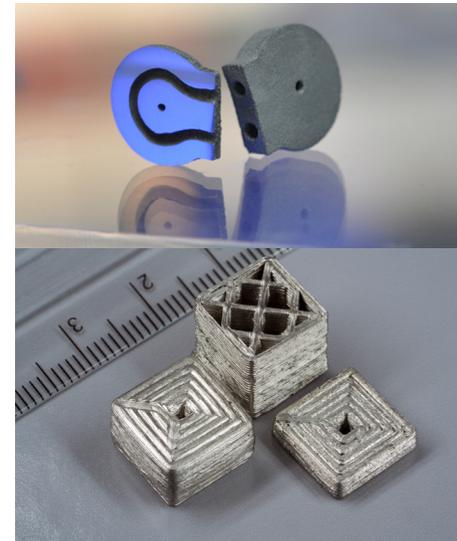


Figure 1: BJ (top) and FFF (bottom) printed hard metal parts (© Fraunhofer IKTS)

#### Literature:

U. Scheithauer, J. Pötschke, S. Weingarten, E. Schwarzer, A. Vornberger, T. Moritz, A. Michaelis: Droplet-Based Additive Manufacturing of Hard Metal Components by Thermoplastic 3D Printing (T3DP), Journal of Ceramic Science and Technology, [8], 155-160, [2017].

J. Pötschke, C. Berger, H.-J. Richter, U. Scheithauer, S. Weingarten: ADDITIVE MANUFACTURING OF HARDMETALS, Pro-

ceedings of European Powder Metallurgy Congress 2017, 2017, Milano  
C. Berger, J. Pötschke, A. Abel, H.-J. Richter, U. Scheithauer, S. Weingarten: Additive Manufacturing of WC-Co Based Tools, Proceedings of 11th TOOLING 2019 conference, 2019, Aachen

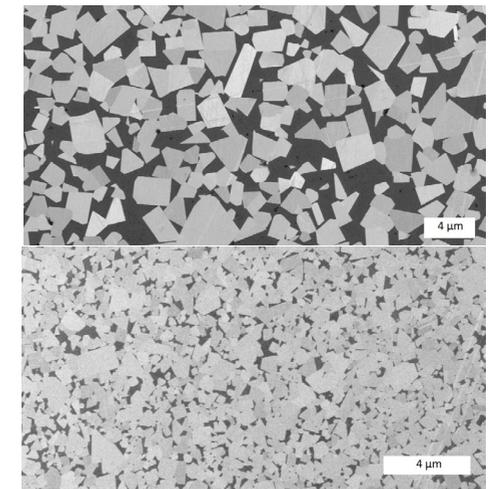


Figure 2: Microstructure of WC-Co parts printed with BJ (top) and FFF (bottom) (© Fraunhofer IKTS)

Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems IKTS

Dr.-Ing. Johannes Pötschke

☎: +49 351 2553-7641

✉: [johannes.poetschke@ikts.fraunhofer.de](mailto:johannes.poetschke@ikts.fraunhofer.de)

## Additive Fertigung für den niederländischen Markt – Fraunhofer ist jetzt auch in den Niederlanden vertreten

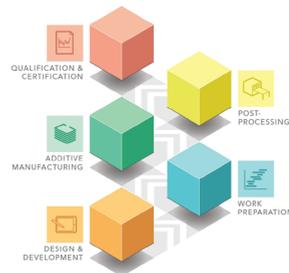
Das Fraunhofer Project Center for Design and Production Engineering for Complex High-Tech Systems an der Universität Twente (FPC@UT) wurde 2017 von der Universität Twente, der Fachhochschule Saxion und der Fraunhofer-Gesellschaft gegründet.

Unterstützt vom Aachener Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT gewinnen die Aktivitäten der Zentren in verschiedenen Branchen in den Niederlanden an Dynamik. Eine der Hauptaktivitäten liegt im Bereich der additiven Fertigung (AM). Zusammen mit dem Fraunhofer IPT bietet das FPC@UT die Kompetenz, die additive Fertigung nicht nur als alternative Produktionstechnologie, sondern auch als Element völlig neuer Fertigungsprozessketten zu verstehen und Anwender, Ingenieure und Manager mit den verschiedenen Prozessschritten vertraut zu machen.

Zu diesem Zweck arbeiten beide Institutionen mit mehreren niederländischen Geschäftspartnern zusammen, um sie auf die additive Fertigung und auf die zukünftigen Herausforderungen bei der Implementierung von AM-Technologien in ihrer bestehenden Produktion vorzubereiten.

Neben dem Produktportfolio-Screening zur Identifizierung geeigneter Bauteile, die durch die additive Fertigung optimiert oder

funktional ergänzt werden können, unterstützt das interdisziplinäre Fraunhofer-Team die Partner mit seiner Expertise im Prozess des AM-orientierten Re-Engineerings, der additiven Herstellung und schließlich der angepassten Weiterbearbeitung.



*Die Kombination der Kompetenzen von Fraunhofer und der Universität Twente führt zu einem ganzheitlichen Angebot entlang der Prozesskette.*

Eine Vision des Fraunhofer-Teams ist es, die niederländische Industrie durch den Einsatz fortschrittlicher Fertigungstechnologien wie beispielsweise additiver Fertigungsprozesse zu stärken, damit niederländische Unternehmen nicht nur auf die additive Fertigung vorbereitet sind, sondern auch in der Zukunft wettbewerbsfähig bleiben.

### Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Dipl.-Ing. Kai Winands

☎: +49 241 8904-421

✉: [kai.winands@ipt.fraunhofer.de](mailto:kai.winands@ipt.fraunhofer.de)

## Additive Manufacturing for the Dutch market – Fraunhofer is now present in the Netherlands

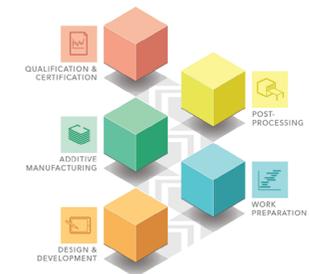
In 2017, the Fraunhofer Project Center for Design and Production Engineering for Complex High-Tech Systems at the University of Twente (FPC@UT) has been founded by the University of Twente, the Saxion University of Applied Sciences and the Fraunhofer-Gesellschaft.

Supported by the Aachen-based Fraunhofer Institute for Production Technology IPT, the centers' activities gain momentum in different industrial sectors throughout the Netherlands. One of the main activities is located in the field of Additive Manufacturing (AM). Together with the Fraunhofer IPT, the FPC@UT provides the expertise to understand additive manufacturing not only as an alternative production technology, but also as an element of completely new manufacturing process chains, and to familiarize users, engineers and managers with the different process steps.

To this purpose, both institutions work together with several Dutch business partners to prepare them for additive manufacturing and for the future challenges in implementing AM technologies in their existing production.

Besides product portfolio screening to identify suitable parts that can be optimized or functionally enhanced by additive manufac-

turing, the interdisciplinary Fraunhofer team uses its expertise to support partners in the process of AM-oriented part re-engineering, additive part manufacturing and finally adapted post-processing.



*The combination of competencies of Fraunhofer and the University of Twente leads to an holistic offer along the process chain*

One vision of the Fraunhofer team is to strengthen the Dutch industry through the use of advanced manufacturing technologies such as additive manufacturing processes so that Dutch companies will not only be prepared for additive manufacturing, but also remain competitive in future.

### Fraunhofer Institute for Production Technology IPT

Dipl.-Ing. Kai Winands

☎: +49 241 8904-421

✉: [kai.winands@ipt.fraunhofer.de](mailto:kai.winands@ipt.fraunhofer.de)

## Nachbearbeitung von additiv gefertigten dünnwandigen Bauteilen mittels Stützstrukturen

Die Bedeutung von additiven Fertigungsverfahren für die industrielle Produktion nimmt vermehrt zu. Diese Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass nahezu beliebig komplexe Bauteilgeometrien, mit vergleichsweise geringem Initialaufwand, bei akzeptabler Bauteilqualität hergestellt werden können. Jedoch müssen additiv gefertigte Bauteile in der Regel nachbearbeitet werden, da die Bauteiltoleranzen und Bauteiloberflächen nicht den Anforderungen entsprechen. Daher ist nahezu immer eine zerspanende Nachbearbeitung der Funktionsflächen nötig. Dies geschieht in der Regel mittels Fräs- und/oder Schleifverfahren.

Für einen geringen Aufwand bei der Nachbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen werden diese grundsätzlich mit geringem Aufmaß hergestellt, um eine hohe Materialeffizienz zu realisieren sowie geringe Produktionszeiten bei der additiven Fertigung zu erreichen. Jedoch ist dies gerade bei dünnwandigen Bauteilen eine große Herausforderung, da bei der anschließenden Fräsbearbeitung Schwingungen auftreten, die die Oberflächenqualität der Bauteile herabsetzen. Ein Beispiel sind dabei Verdichterschaufeln aus Flugzeugtriebwerken.

Um Schwingungen bei der anschließenden spanenden Nachbearbeitung zu vermeiden,

können Stützstrukturen um die dünnwandigen Bauteile mitaufgebaut werden. Diese erhöhen die Steifigkeit der labilen Bauteile und reduzieren die Schwingungen während der Fräsbearbeitung. Stützstrukturen können im Vergleich zu Vollmaterial wesentlich einfacher mittels Fräsen entfernt werden. Dadurch können sowohl die Bearbeitungszeiten als auch der Werkzeugverschleiß reduziert werden. Dies ist gerade bei schwer zerspanbaren Werkstoffen, wie im Triebwerksbau, von hoher Bedeutung. Die wesentliche Herausforderung ist dabei, die Geometrie der Stützstrukturen einerseits für die additive Fertigung sowie andererseits für den spanenden Nachbearbeitungsprozess auszulegen.



*Additive Fertigung ermöglicht schwingungsarme spanende Weiterbearbeitung von Bauteilen*

### Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

M. Sc. Vincent Gerretz

☎: +49 241 8904-273

✉: [vincent.gerretz@ipt.fraunhofer.de](mailto:vincent.gerretz@ipt.fraunhofer.de)

## Post-processing of additive thin-walled components by means of support structures

The importance of additive manufacturing processes for industrial production is increasing. These processes are characterized by the fact that component geometries of almost any complexity can be produced with comparatively small initial effort and acceptable component quality. However, additively manufactured components usually have to be post-machined because the component tolerances and component surfaces do not meet the requirements. Therefore, machining of the functional surfaces is almost always necessary. This is usually done by milling and/or grinding.

In order to achieve a high material efficiency as well as low production times in additive manufacturing, additively manufactured components are generally produced with a small allowance in order to minimise the effort required for post-processing. However, this is a great challenge, especially for thin-walled components, since vibrations occur during the subsequent milling process, which reduce the surface quality of the components. One example for this is compressor blades from aircraft engines.

In order to avoid vibrations during subsequent machining, support structures can be built around the thin-walled components. They increase the rigidity of the unstable components and reduce vibrations during

milling. Compared to solid material, support structures can be removed much more easily by milling. This reduces both machining time and tool wear. This is particularly important for materials that are difficult to machine, such as turbo machinery components. The main challenge here is to design the geometry of the support structures for additive manufacturing on the one hand and for the machining finishing process on the other.



*Additive manufacturing enables low-vibration machining of components*

### Fraunhofer Institute for Production Technology IPT

M. Sc. Vincent Gerretz

☎: +49 241 8904-273

✉: [vincent.gerretz@ipt.fraunhofer.de](mailto:vincent.gerretz@ipt.fraunhofer.de)

## Erstentwicklung von Prozessparametern für den 3D-Druck von Schwermetallen und Sonderwerkstoffen

Die Welt der Additiven Fertigung (3D-Druck) hat sich in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt und findet sich zunehmend auch für Kleinserienfertigungen im industriellen Einsatz. Aufgrund der verschiedensten Anwendungsfelder wächst das Werkstoffportfolio der vielfältigen 3D-Druck-Technologien stetig. Eine besonders ausgeprägte Werkstoffflexibilität bietet das laser- und pulverbettbasierte Fertigungsverfahren LBM (Laser Beam Melting). Dies ist einer der vielen Gründe, warum LBM unter den metallischen 3D-Druckverfahren am weitesten verbreitet ist. Dünne Schichten von Metallpulver werden bei diesem Verfahren auf ein Substrat aufgetragen, durch Laserenergie lokal aufgeschmolzen und mit der vorherigen Schicht verbunden. Auf diese Weise entsteht aus vielen Schichten ein dreidimensionales Objekt. Durch dieses additive Prinzip ergeben sich neue Freiheitsgrade im Design. Zusätzlich können auch komplexe Formen für Werkstoffe generiert werden, die konventionell auf Grund beispielsweise ihrer hohen Härte nur sehr aufwendig bearbeitet werden können. Weitere Vorteile finden sich im Bereich Flexibilität, integrale Bauweisen, Funktionsintegration, Logistik, reduzierte Entwicklungszeiten und individuelle Produkte. Grundsätzlich ermöglicht LBM im Vergleich zu konventionellen Verfahren vergleichbare Materialdichte und hervorragende Materialeigenschaften. Die Technologie

eignet sich somit sehr gut für die Herstellung hochbelasteter, auf Leichtbau optimierter Maschinenteile oder Funktionsanwendungen in der Wehrtechnik.

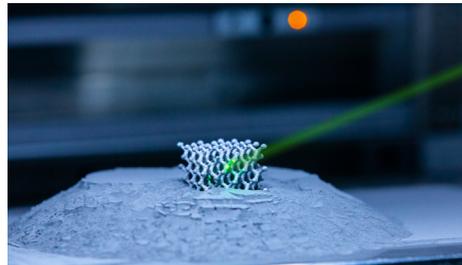


Abb. 1: Komplexe und strukturierte Objekte aus dem 3D-Drucker auch aus Sonderwerkstoffen wie Wolfram.

### Wenige Legierungen bedienen spezifische Anwendungsfelder

Aufgrund der momentan aufwendigen Parameterentwicklung neuer Legierungen für den LBM-basierten 3D-Druck kommen vor allem wenige ausgewählte Legierungen für breite Anwendungsfelder zum Einsatz. Aluminium- und Titan-Legierungen bedienen den Leichtbaumarkt, Inconel-Legierungen eignen sich für Hochtemperatur-Anwendungen, Edelstahl für den Maschinenbau und die Herstellung von Kunstobjekten, Cobalt-Chrom- und Titan-Legierungen decken den Markt der Medizintechnik ab und hochfeste Stähle werden zur Herstellung von Werkzeugen eingesetzt. Einsatzbereiche mit Bedarf nach alternativen Werkstoffen werden momentan nur bedingt bedient. Speziell für

dynamische Anwendung im Fahrzeugcrash und in vielen Bereichen der Wehrtechnik finden sich kommerziell momentan keine geeigneten Materialien. Fraunhofer EMI entwickelt darum eigene Fertigungsparameter für die Verarbeitung von Sonderwerkstoffen. Ein Schwerpunkt bildet hierbei der wehrtechnische Bereich Schutz und Wirkung.

### Hochqualitatives Wolfram und Tantal aus dem 3D-Drucker

So wurden beispielsweise Parameter zur Herstellung von hochqualitativem Wolfram und Tantal entwickelt. Beide Elemente zeichnen sich durch ihre hohe Dichte und einen hohen Schmelzpunkt aus. Wolfram weist sogar den höchsten Schmelzpunkt aller Metalle auf. Die Verarbeitung von Refraktärmetallen wie Wolfram zeigt hierbei, dass sich im LBM-Verfahren auch konventionell schwierig zu bearbeiten Metalle verarbeiten lassen, obwohl diese generell als schlecht schweißbar gelten und das LBM-Verfahren im Grundprinzip einem Laserschweißprozess ähnelt. Besondere Herausforderungen stellten sich den EMI-Wissenschaftlern bei der Parameterentwicklung für Wolfram. Aufgrund des hohen lokalen Energieertrags und großer Abkühlraten bei der Bearbeitung mit einem Laserstrahl kommt es im Mikrogefüge zur Rissbildung. Die Bildung der Mikrorisse konnte im Zuge der Arbeiten erfolgreich minimiert werden. Das Resultat ist ein spröder, hochdichter Werkstoff mit einer Dichte von etwa 19,2 g/cm<sup>3</sup>. Im Kontrast hierzu bietet

Tantal eine ausgeprägte Duktilität sowie eine gute Schweißbarkeit. Ausgeprägter Schwerpunkt bei der Forschungsarbeit zur Verarbeitung von Tantal bildete die Reduktion der Eigenspannungen im Material. Das Resultat der Forschungsarbeiten sind ein stark mikrorissreduziertes Rein-Wolfram sowie ein hochdichtes Rein-Tantal (99,99% relative Dichte) aus dem 3D-Drucker. Die Werkstoffe eignen sich besonders für den Bereich Wirkung, aber auch für Spezialanwendungen wie Kollimatoren für Röntgendetektoren. Weitere Anwendungsbereiche sind Elektrotechnik, Medizintechnik sowie Applikationsfelder mit höchsten thermischen Anforderungen.



Abb. 2: Die Entwicklung von Fertigungsparametern für den LBM-Prozess, basierend auf hausinterner Methodik, ermöglicht den Einsatz von optimalen Werkstoffen für jeden Anwendungsfall.

### Effiziente Parameterentwicklung und Optimierung dank hausinterner Methodik

Für die Entwicklung der Parametersätze kommt eine effiziente hausinterne Methodik zum Einsatz. Diese ermöglicht eine vergleichsweise schnelle und aufwandsarme Entwicklung der Prozessparameter. Auch

lassen sich so besonders teure Spezialwerkstoffe deutlich günstiger entwickeln. Die Methodik stützt sich auf die Betrachtung der Interaktion zwischen Laserstrahl und Metallpulver sowie auf statistische Versuchspläne. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen später auch der anwendungsspezifischen Parameteroptimierung, sowie der Parameteranpassung für spezifische Bauteile und deren Anforderungen an die Fertigung. Für erste Charakterisierungen der resultierenden Materialien kommen schnelle Verfahren wie die Bestimmung der Dichte zum Einsatz. Ist der Parametersatz ausgereift, wird das Material mit Hilfe modernster Messmittel wie Elektronenrückstreubeugung (EBSD) oder  $\mu$ CT-Aufnahmen charakterisiert und die Parameter werden weiter verfeinert.

Die Entwicklung einer hausinternen Methodik zur Parameterentwicklung für LBM-Werkstoffe ermöglicht eine effiziente Entwicklung von Fertigungsparametern und somit den Einsatz optimaler Werkstoffe für spezifische Anwendungsfelder. Es wurde gezeigt, dass sich so auch schwierig zu verarbeitende Werkstoffe in hoher Qualität erzeugen lassen. Denkbar ist in Zukunft auch die Entwicklung neuartiger Legierungen, welche sich konventionell nicht realisieren lassen. So könnte die hohe Abkühlrate des Prozesses beispielsweise eine höhere Löslichkeit von Legierungselementen und somit neue Werkstoffeigenschaften ermöglichen. Bei der Auswahl zukünftiger Legierungen

ist jedoch nicht nur das Anwendungsgebiet zu berücksichtigen, sondern auch der erweiterte Lösungsraum bezüglich der neu verfügbaren Designfreiheiten. Werden Anforderungen beispielweise konventionell durch Geometrien basierend auf Halbzeugen realisiert (bspw. Platten), so werden diese bei der Anwendung additiver Verfahren eventuell effizienter durch alternative Geometrien (bspw. Gitterelemente) gelöst. Basierend auf der neuen Geometrie gilt es, einen passenden Werkstoff auszuwählen.

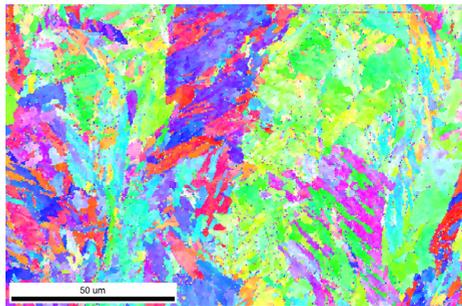


Abb. 3: Die hochqualitativen Werkstoffe werden mit modernsten Messmethoden charakterisiert (hier EBSD)

**Fraunhofer-Institut für Kurzzeiddynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI**

M.Sc. Aron Pfaff

☎: +49 761 2714-522

✉: [aron.pfaff@emi.fraunhofer.de](mailto:aron.pfaff@emi.fraunhofer.de)

## Primary Development of Process Parameters for 3D – Printing of Heavy Metals and Unique Alloys

The world of additive manufacturing (3D printing) has rapidly evolved in the past few years and is increasingly implemented in various processes including small series production in industry. Based upon the variety in fields of application, the portfolio of materials used in the various 3D printing technologies is also rapidly growing. A particularly well developed material flexibility is provided by the laser and powder bed based manufacturing process LBM (Laser Beam Melting). This is one of the main reasons why LBM is the most widespread-used metallic 3D printing process. Thin layers of metal powder are applied to a substrate, locally melted with laser energy and bonded with the previous layer. The result of the multiple layer generation is a three-dimensional object. Due to this additive principle, a new degree of freedom in design can be achieved. Additionally, complex shapes can be generated for materials, which conventionally would be hard to manipulate, e.g. due to their high hardness. Further benefits are observed regarding flexibility, integral design, function integration, logistics, reduced development time requirements and individual products. Fundamentally, LBM in comparison to other conventional processes results in similar material density and outstanding material characteristics. The technology is thus suitable for the production of machine parts under high load, that are optimized for lightweight

design or functional applications in defense technology.

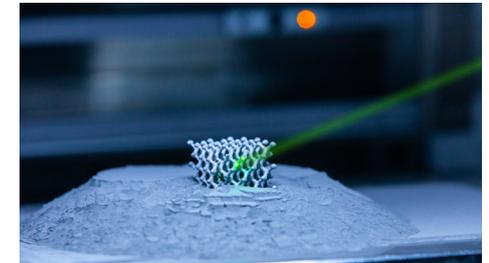


Fig. 1: Complex and structured objects from the 3D printer, made out of special materials such as tungsten.

## Few alloys serve specific fields of application

Due to the currently expensive parameter development of new alloys for the LBM-based 3D printing process, only a few alloys are used for a wide range of applications. Aluminum and titanium alloys are used in the lightweight design market, Inconel alloys are suitable for high-temperature applications, stainless steel is optimal for mechanical engineering and the production of art objects, cobalt-chrome and titanium alloys cover most of the medical technology market and finally, high-strength steels are applied in the production of tools. Application fields with demand for alternative materials are momentarily covered to a limited extent only. Specifically for dynamic applications in automobile crashes and in many areas of defense technology, no suitable materials are

currently commercially available. Fraunhofer EMI is developing its own manufacturing parameters for the processing of special alloys. The defense sector of effectors and protective structures is a particular focus in this development.

### High quality tungsten and tantalum from the 3D printer

Parameters for the production of high quality tungsten and tantalum were developed. Both elements feature a high density and a high melting point. In fact, tungsten has the highest melting point of all metals. The processing of refractory metals such as tungsten shows that the LBM method facilitates the processing of metals that are conventionally difficult to process, although these metals are generally considered not weldable and the LBM method is in its basic principle similar to a laser welding process. The Fraunhofer EMI researchers were faced with particular challenges during the parameter development for tungsten. Due to the high local energy yield and high cooling rates during the processing of the material with laser beams, cracking occurs in the microstructure. The work currently being conducted can successfully minimize the formation of these micro-cracks. The result is a brittle, high-density material with a density of approx. 19.2 g/cm<sup>3</sup>. In contrast, tantalum displays excellent ductility and weldability. The reduction of the residual stress of the material is the major focus in the research

on tantalum processing. The results of the conducted research are a pure tungsten with strongly reduced micro-cracks and a 3D printed high-density tantalum (99.99 % relative density). These materials are perfectly suited for applications in the field of effectors, but also for other special applications such as collimators for X-ray detectors. Further fields of application are electrical engineering, medical technology, and those of highest thermal requirements.



Fig. 2: The high-quality materials are characterized with the latest measurement methods (in this case, EBSD).

### Efficient Parameter Development and Optimization Thanks to In-House Methodology

An efficient in-house methodology is employed for the development of parameter sets. This allows a comparably fast and simple development of the process parameters. Furthermore, particularly expensive special materials can thereby be developed much more cost-effectively. The method is based on the observation of the interaction between laser beam and metal powder as well as on design of experiment methods. The

obtained results can be used later during the application-specific parameter optimization as well as during the parameter adaptation for specific components and their respective manufacturing requirements. Fast methods such as density measurements are used for first characterizations of the resulting materials. If the parameter set is well-developed, the material is characterized with the latest measurement technology, such as electron backscatter diffraction (EBSD) or  $\mu$ CT imaging, and the parameters are further refined. The development of an in-house methodology for parameter development of LBM materials allows an efficient development of manufacturing parameters and thus, the usage of ideal materials for specific fields of application. It could be shown that even materials that are difficult to process could be produced in high quality. The development of new forms of alloys, which have so far not been realized with conventional methods, is conceivable for the future. The high cooling rate of the process could for example allow for a higher solubility of the alloying elements and thereby result in new material characteristics. For the selection of future alloys, it is not only important to take the application field into consideration but also the expanded solution space regarding the newly available freedom in design. While, for example, requirements are generally addressed using geometries based on semi-finished casting products (such as plates), in additive manufacturing, they are

addressed using alternative geometries (such as grid elements). Based on the new geometry, a suitable material has to be selected.

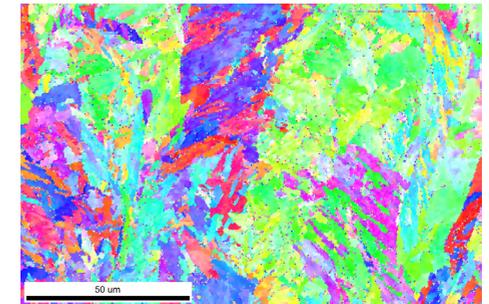


Fig. 3: The high-quality materials are characterized with the latest measurement methods (in this case, EBSD).

Fraunhofer Institute for High-Speed Dynamics, Ernst-Mach-Institut, EMI

M.Sc. Aron Pfaff

☎: +49 761 2714-522

✉: [aron.pfaff@emi.fraunhofer.de](mailto:aron.pfaff@emi.fraunhofer.de)

**Durch den Einsatz additiver Fertigungsverfahren – besser bekannt als 3D-Druck – entstehen völlig neue Konstruktionsmöglichkeiten in der Entwicklung von Satellitenbauteilen. Am Fraunhofer EMI werden die Möglichkeiten des 3D-Drucks mit intelligenten Strukturoptimierungsalgorithmen kombiniert, um metallische Satelliten-Strukturen zu realisieren.**

Satellitengestützte Dienstleistungen wie die Wettervorhersage, Navigation oder Kommunikationsanwendungen prägen unser alltägliches Leben. Um die Entwicklung dieser Dienste noch schneller als bisher voranzubringen, stellt der Einsatz von sogenannten Kleinsatelliten ein enormes Potential dar. Die Kleinsatelliten sind oftmals nicht größer als ein Schuhkarton und können mit deutlich geringeren Kosten und Entwicklungszeiten zu einem schnelleren Innovationszyklus beitragen. Durch die Kostenreduzierung der leistungsfähigen Kleinsatelliten werden zudem Satellitenkonstellationen ermöglicht, welche wiederum völlig neue Möglichkeiten in der Erdbeobachtung ermöglichen.

### **Kleinsatelliten erfordern Paradigmenwechsel in Konstruktion und Produktion**

Um bessere, flexiblere und kostengünstigere Kleinsatelliten in einer kürzen Entwicklungszeit zu realisieren, bedarf es eines Paradigmenwechsels in der Konstruktion und Produktion von bisherigen Satellitensystemen. Der 3D-Druck mit einer enormen Designfreiheit ermöglicht es, hochindividualisierte und kompakte Designlösungen für Kleinsatelliten zu realisieren. Am Fraunhofer EMI werden Designmethoden und Konzepte

eingesetzt und weiterentwickelt, um anwendungsspezifische Kleinsatellitenstrukturen zu realisieren. Die Automatisierung des Designprozesses unter Einbezug von modernen Strukturoptimierungsalgorithmen garantiert dabei eine schnelle Anpassung von Designs, die Integration von Funktionen in Bauteilen sowie die Integralbauweise zur Reduzierung von Einzelteilen. Mit Hilfe des metallischen 3D-Drucks werden damit Bauteile ressourceneffizient aus Aluminium- oder Titanlegierungen hergestellt. Am Fraunhofer EMI wird somit stetig daran gearbeitet, den 3D-Druck als Brücke zwischen realer und digitaler Welt auch in der Raumfahrt zu etablieren.



Abb. 1: 3D-gedruckte optische Bank des Nanosatelliten ERNST

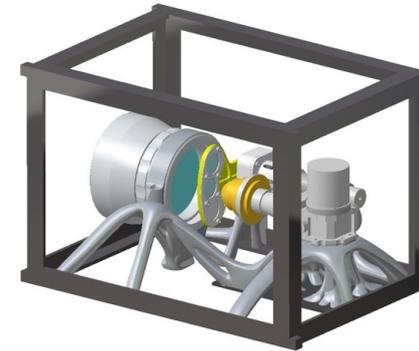


Abb. 2: Computermodell der integrierten optischen Nutzlast

### **Erster Nanosatellit der Fraunhofer-Gesellschaft**

ERNST ist ein 15 Kilogramm schwerer, schuhkartongroßer Nanosatellit, der als Hauptnutzlast eine Infrarotkamera zur Erdbeobachtung trägt. ERNST steht für Experimentelle Raumfahrtanwendung basierend auf Nansatelliten-Technologie. Bei der Entwicklung des Nanosatelliten ERNST am Fraunhofer EMI kam das sogenannte »Laser Beam Melting« (LBM) zur additiven Fertigung der optischen Bank zum Einsatz. Mit dieser Technologie können hochkomplexe metallische Bauteilstrukturen gefertigt und dann im Satelliten verbaut werden. Das Besondere an der additiv gefertigten optischen Bank ist ihr Design. Mithilfe einer multidisziplinären Designoptimierung konnte eine Struktur gefunden werden, welche optimal auf die auftretenden mechanischen und thermischen Belastungen während des Starts und während der Betriebsphase abgestimmt ist und die zusätzlich verschiedene Funktionen

in nur eine Struktur integriert. Gerade für die Raumfahrt sind additive Fertigungsverfahren somit von großer Bedeutung: Hochspezialisierte und individualisierte Leichtbauteile mit völlig neuen Formen ermöglichen die Integration zusätzlicher Funktionen auf engstem Raum.

Mit dem geplanten Start von ERNST im Jahr 2021 wird damit erstmals eine additiv gefertigte metallische Struktur auf einem Nanosatelliten dieser Größe mitfliegen.



Abb. 3: Animation des 12U Nanosatelliten ERNST im Orbit

**Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI**

Dipl.-Ing. Marius Bierdel

☎: +49 761 2714 - 440

✉: [marius.bierdel@emi.fraunhofer.de](mailto:marius.bierdel@emi.fraunhofer.de)

**New design possibilities in the development of satellite components have been made possible by the implementation of additive manufacturing processes, better known as 3D Printing. These new 3D Printing possibilities have been combined with intelligent structural optimization algorithms at Fraunhofer EMI in order to manufacture metallic satellite structures.**

Satellite-based services such as weather forecasts, navigation or communication applications are integral to daily life. In order to advance the development of these services even faster than today, the implementation of small satellites offers great potential. These small satellites are often no larger than a shoebox, with significantly lower costs and faster development times and thus contribute to a more swift innovation cycle. A further benefit of reduced costs and development time of these efficient small satellites is the possibility of creating satellite constellations, which in turn allow completely new opportunities for earth observation.

### Small Satellites Require Paradigm Shift in Design and Production

In order to manufacture better, more flexible and cost-effective small satellites within shorter development times, a paradigm shift in the design and production of current satellite systems is necessary. The great freedom of design that is facilitated by 3D printing allows for highly individualized and compact design solutions for small satellites. At Fraunhofer EMI, design methods and concepts are applied and further developed in order to produce service-specific small satellite structures. The automation of the design

process in combination with structural optimization algorithms guarantees an efficient adaptation of the design, the integration of functions in the components, and an integral design to reduce the number of individual parts. Through metallic 3D printing, components are efficiently manufactured from aluminum or titanium alloys. At Fraunhofer EMI, researchers are consistently working on establishing the role of 3D printing as a bridge between the real and the digital world in spacecraft technology as well.



Fig. 1: 3D-printed optical bench of the nanosatellite ERNST

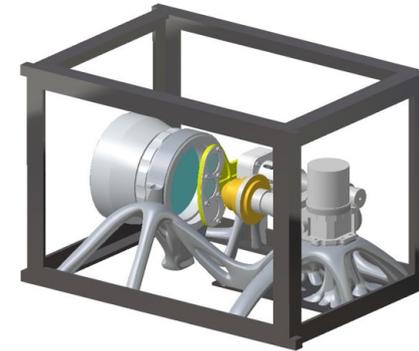


Fig. 2: Computer aided design of the integrated optical payload

### First nanosatellite of the Fraunhofer-Gesellschaft

ERNST is a 15 kilogram, shoebox-sized nanosatellite equipped with an infrared camera as main payload, which is primarily used in Earth observation. ERNST is the acronym for “Experimental Space Application based on Nano Satellite Technology”. During the development of the nanosatellite ERNST, the so-called “Laser Beam Melting” (LBM) method was used for the additive manufacturing of the optical bench. With this technology, it is possible to produce highly complex metallic components, which can then be included in the satellite. The unique feature of the optical bench manufactured via additive manufacturing is its design. By means of a multi-disciplinary design optimization process, a structure optimally attuned to mechanical and thermal stresses, occurring during the start and operation of the satellite, could be developed. Furthermore, the optical bench successfully integrates vari-

ous functions into one structure. Especially in spacecraft technology, additive manufacturing processes play a significant role: highly specialized and individualized lightweight components with completely new shapes allow the integration of additional functions despite spatial limitations.

ERNST is scheduled to launch in the year 2021 and will thereby be the first nanosatellite of this size in orbit to include an additively manufactured metallic structure.



Fig. 3: In-orbit animation of the 12U nanosatellite ERNST

**Fraunhofer Institute for High-Speed Dynamics, Ernst-Mach-Institut, EMI**

Dipl.-Ing. Marius Bierdel

☎: +49 761 2714 - 440

✉: [marius.bierdel@emi.fraunhofer.de](mailto:marius.bierdel@emi.fraunhofer.de)

## Simulation der Schmelz- und Erstarrungsdynamik bei additiven Fertigungsverfahren

Additive Fertigungsverfahren werden in Wissenschaft und Industrie immer bedeutender. Die Zuverlässigkeit derart gefertigter Bauteile reicht allerdings noch nicht für die Verwendung in strukturellen Leichtbauelementen. Gerade hier aber ermöglichen additive Fertigungsverfahren die Produktion hochkomplexer Objekte mit am Computer maßgeschneiderten mechanischen Eigenschaften und minimalem Materialaufwand. Zuverlässige additiv gefertigte Bauteile könnten daher zu einer weiteren dramatischen Gewichtsreduktion bei gleichzeitiger Steigerung der Funktionalität von Leichtbauelementen führen.

### Ermüdungsparameter bei Pulverbettverfahren

Die Ermüdung von mittels Pulverbettverfahren gefertigten Bauteile wird einerseits durch deren Oberflächenrauheit  $R_z$  bestimmt: Typischerweise liegt diese im Bereich von 25 bis 40  $\mu\text{m}$  und ist damit signifikant größer als bei traditionellen Formgebungsverfahren wie dem Kokillenguss ( $R_z$  3 bis 8  $\mu\text{m}$ ). Eine systematische Kontrolle der Rauheit wäre daher wünschenswert, kann allerdings momentan nicht realisiert werden. Andererseits sind sowohl eine unter Umständen lokal auftretende Restporosität als auch nicht miteinander verschmolzene Schichten der Ursprung von Rissen im Bauteil. Simulationswerkzeuge können hier helfen, relevante Prozesspara-

meter zu identifizieren, zu adaptieren und somit die Erzeugung verbesserter Bauteile zu ermöglichen.

Derzeit gibt es noch keine etablierten Simulationstools für die additive Fertigung. Dies gilt insbesondere für die Längenskala der Pulverpartikel, die relevant für die Bauteilrauheit ist. Am Fraunhofer IWM entwickelte partikelbasierte Simulationstechniken ermöglichen hier allerdings detaillierte Einblicke in den Prozess. Dies betrifft bei Pulverbettverfahren die Simulation des Aufrakelns des Pulvers, da die erreichten Packungsdichten entscheidend für die Dynamik des Schmelzvorgangs sind. Zudem liefert die Simulation der Schmelz- und Wiedererstarrungsprozesse Vorhersagen zur Porosität und Oberflächenrauheit und damit letztlich Indikatoren für die Festigkeit des Bauteils.

### Partikelbasierte Simulationen

Alle verwendeten Simulationsmethoden sind in der Software SimPARTIX® des Fraunhofer IWM implementiert. Die Software wird sowohl zur Projektarbeit im Haus eingesetzt als auch an Kunden lizenziert. Zur Modellierung des Rakelvorgangs (Abbildung 1) wird die Diskrete Elemente Methode eingesetzt. Die Pulverpartikel werden dabei als Kugeln mit der im realen Pulver gemessenen Größenverteilung beschrieben. Die simulierten Partikel wechselwirken miteinander durch Hertzsche

Repulsion, viskose Dämpfung, Kohäsion sowie Gleit- und Rollreibung. Zudem wird die Bewegung des Rakels, beziehungsweise der Walze, vorgegeben. Die systematische Variation dieser Material- und Prozessparameter gibt Aufschluss über Ursachen von Inhomogenitäten im Pulverbett und hilft somit, diese zu vermeiden.

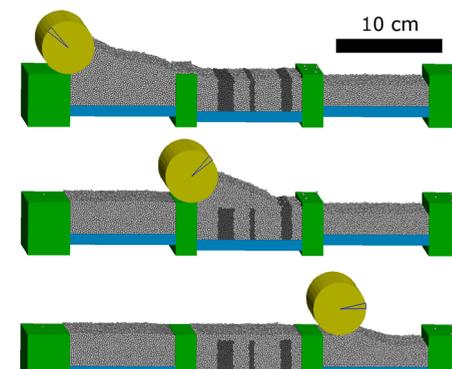


Abb. 1: Simulation des Aufrakelns einer Pulverschicht mit einer gegenläufig rotierenden Walze.

Zur Simulation des Schmelzens und Erstarrens wird die sogenannte Smoothed Particle Hydrodynamics Methode genutzt (Abbildung 2). Diese berechnet den lokalen Energieeintrag durch die Laserstrahlung, die Wärmeleitung im Material sowie die Strömung im Schmelzbad. Das Strömungsverhalten wird von der Schwerkraft und der Oberflächenspannung beeinflusst. Besonders relevant ist hierbei die Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung, welche sogenannte Marangoni-Strömungen hervorruft. In Abbildung 3 wird der Einfluss der

Marangoni-Strömung auf die resultierende Oberflächenrauheit in einer zweidimensionalen Simulation verdeutlicht: Das aufgeschmolzene Material fließt vom Zentrum zu den Rändern des Schmelzbades, erstarrt dort und hinterlässt Erhöhungen der Oberfläche. Dabei kann die Höhe der Aufwölbung ein Mehrfaches des Durchmessers der ursprünglich verwendeten Partikel betragen und es entsteht eine inakzeptabel große Oberflächenrauheit. Da beim anschließenden Rakeln typischerweise nur wenige Partikellagen aufgebracht werden, können diese Regionen unter Umständen nicht vollständig mit den neuen Partikeln befüllt werden. Das Ziel jedoch ist, ein Partikelbett mit möglichst homogener Oberfläche als Ausgangssituation für den folgenden Schmelzprozess zu erhalten. Die Oberflächenrauheit des vorherigen Schmelzprozesses sollte also kleiner als der Partikeldurchmesser sein.

### Prozess- und Materialoptimierung

Partikelbasierte Simulationen erlauben die physikalische Modellierung von Rakelprozessen sowie der Schmelzbadynamik. Damit eignen sie sich für systematische Analysen des Einflusses von Prozess- und Materialparametern auf das Ergebnis der additiven Bauteilfertigung. Pulver können auf ihre prinzipielle Eignung für Laserschmelzverfahren untersucht und zum Beispiel durch eine Anpassung der Größenverteilung optimiert werden. Ebenso können geeignete Laserparameter identifiziert werden, die für einen

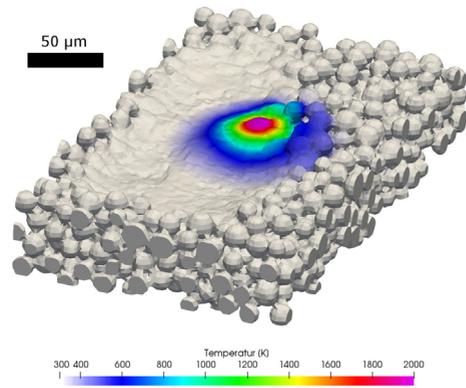


Abb. 2: Simulation des Schmelzens und Wiederverstärkens einer Pulverschicht, die in einer Rakelsimulation berechnet wurde. Das Temperaturfeld ist farbkodiert dargestellt.

gegebenen Werkstoff zu einem ruhigen Schmelzbad und damit zu einem homogenen Bauteil führen. Darüber hinaus wird aber auch die Entwicklung neuer Materialien, beispielsweise Legierungen, durch die Simulation unterstützt. In diesem Fall können Materialparameter, die für eine gute Verarbeitbarkeit nötig sind, gezielt eingegrenzt und somit die Anzahl experimenteller Entwicklungszyklen reduziert werden.

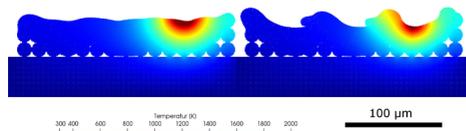


Abb. 3: Numerische Simulation des Laserschmelzens mit farbkodiertem Temperaturfeld; links ohne und rechts mit Marangoni-Strömung.

### Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM

Dr. Claas Bierwisch

☎: +49 761 5142-347

✉: [claas\\_bierwisch@iwf.fraunhofer.de](mailto:claas_bierwisch@iwf.fraunhofer.de)

## Simulation of melting and solidification dynamics in additive manufacturing processes

Additive manufacturing processes are more and more important in science and industry. However, the reliability of components manufactured this way is not yet sufficient for use in structural lightweight components. It is precisely here, however, that additive manufacturing processes enable the production of highly complex parts with customized mechanical properties and minimum material requirements. Reliable additive components could therefore lead to a further dramatic reduction in weight while simultaneously increasing the functionality of lightweight components.

### Fatigue parameters in powder bed processes

The fatigue of components manufactured using the powder bed process is determined on the one hand by their surface roughness  $R_z$ : Typically, this is in the range of 25 to 40  $\mu\text{m}$  and is thus significantly higher than with traditional forming processes such as gravity die casting ( $R_z$  3 to 8  $\mu\text{m}$ ). A systematic control of the roughness would therefore be desirable, but cannot be realized at present. On the other hand, both a residual porosity that may occur locally and powder layers that are not fused together are the origin of cracks in the component. Simulation tools can help to identify and adapt relevant process parameters and thus enable

the production of improved components. There are currently no established simulation tools available for additive manufacturing. This applies in particular to the length scale of the powder particles, which is relevant for component roughness. However, particle-based simulation techniques developed at the Fraunhofer IWM provide detailed insights into the process. In powder bed processes, this applies to the simulation of the powder spreading, since the packing densities achieved are decisive for the dynamics of the melting process. In addition, the simulation of the melting and resolidification processes provides predictions of porosity and surface roughness and thus ultimately indicators of the strength of the component.

### Particle-based simulations

All simulation methods used are implemented in the software SimPARTIX® developed at the Fraunhofer IWM. The software is used for in-house project work as well as licensed to customers. The Discrete Element Method is used to model the powder spreading process (Figure 1). The powder particles are described as spheres with the size distribution of the real powder. The simulated particles interact by Hertzian repulsion, viscous damping, cohesion as well as sliding and rolling friction. In addition, the motion of the doctor blade or roller is specified. The

systematic variation of these material and process parameters provides information about the causes of inhomogeneities in the powder bed and thus helps to avoid them.

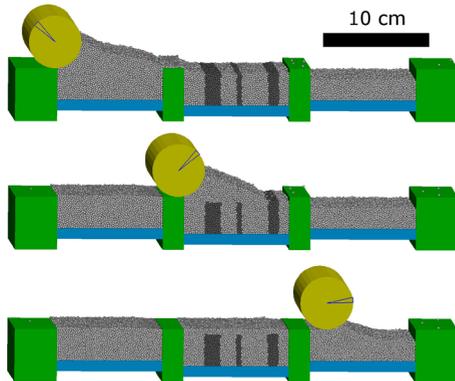


Figure 1: Simulation of the spreading of a powder layer with a counter-rotating roller.

The so-called Smoothed Particle Hydrodynamics method is used to simulate melting and solidification (Figure 2). This method calculates the local energy input by the laser radiation, the heat conduction in the material and the flow in the melt pool. The flow behavior is influenced by gravity and surface tension. The temperature dependence of the surface tension is of particular relevance here, which causes so-called Marangoni currents. Figure 3 illustrates the influence of Marangoni currents on the resulting surface roughness in a two-dimensional simulation: The molten material flows from the centre to the edges of the melt pool, solidifies there and leaves surface elevations behind. The height of these bulges can be several times the diameter of the particles originally used,

resulting in an unacceptably large surface roughness. Since only a few particle layers are typically applied during the subsequent-spreading process, these regions may not be completely filled with the new particles. The aim, however, is to obtain a particle bed with a surface as homogeneous as possible as a starting point for the subsequent melting process. The surface roughness of the previous melting process should therefore be smaller than the particle diameter.

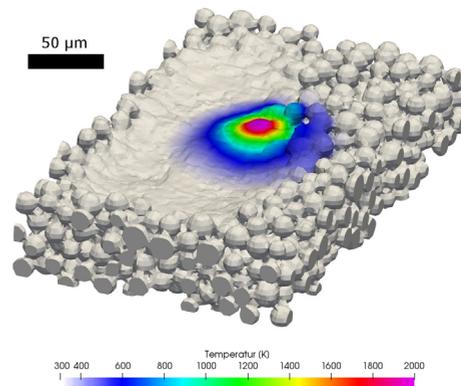


Figure 2: Simulation of the melting and resolidification of a powder layer from a spreading simulation. The temperature field is color-coded.

### Process and material optimization

Particle-based simulations allow the physical modeling of spreading processes and melt pool dynamics. This makes them suitable for systematic analyses of the influence of process and material parameters on the result of additive component manufacturing. Powders can be examined for their suitability in principle for laser melting processes and

optimized, for example, by adjusting the size distribution. Suitable laser parameters that lead to a stable melt pool for a given material and thus to a homogeneous component can also be identified. In addition, the simulation also supports the development of new materials, such as alloys. In this case, material parameters required for good processability can be narrowed down and the number of experimental development cycles can be reduced.

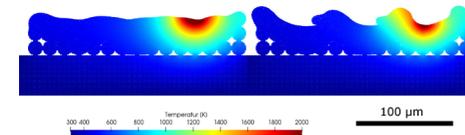


Figure 3: Numerical simulation of laser melting with color-coded temperature field; left without and right with Marangoni currents.

# ONE TOPIC – 19 INSTITUTES – ONE ALLIANCE

## Fraunhofer-competence in Additive Manufacturing

The Fraunhofer Additive Manufacturing Alliance integrates 19 Fraunhofer institutes across Germany and represents the entire process chain of additive manufacturing.

It includes five major research areas: engineering (application development), materials (polymers, metal, ceramics), technology (powder-bed-based, extrusion-based, print-based), quality (reproducibility, reliability, quality management) as well as software and simulation.

Aim of the alliance is to advance applied developments and start trends in additive manufacturing. Many years of experience from national and international industrial assignments as well as research projects form the basis for us to develop customized concepts and to handle complex tasks. The Fraunhofer Additive Manufacturing Alliance is aimed at sectors such as automotive and aviation, but also biotechnology, medical and microsystems technology as well as mechanical and plant engineering.

Fraunhofer EMI | [www.emi.fraunhofer.de](http://www.emi.fraunhofer.de)

Fraunhofer IAO | [www.iao.fraunhofer.de](http://www.iao.fraunhofer.de)

Fraunhofer IAPT | [www.iapt.fraunhofer.de](http://www.iapt.fraunhofer.de)

Fraunhofer IFAM | [www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)

Fraunhofer IFF | [www.iff.fraunhofer.de](http://www.iff.fraunhofer.de)

Fraunhofer IGB | [www.igb.fraunhofer.de](http://www.igb.fraunhofer.de)

Fraunhofer IGCV | [www.igcv.fraunhofer.de](http://www.igcv.fraunhofer.de)

Fraunhofer IGD | [www.igd.fraunhofer.de](http://www.igd.fraunhofer.de)

Fraunhofer IKTS | [www.ikts.fraunhofer.de](http://www.ikts.fraunhofer.de)

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

Fraunhofer IMM | [www.imm.fraunhofer.de](http://www.imm.fraunhofer.de)

Fraunhofer IPA | [www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)

Fraunhofer IPK | [www.ipk.fraunhofer.de](http://www.ipk.fraunhofer.de)

Fraunhofer IPT | [www.ipt.fraunhofer.de](http://www.ipt.fraunhofer.de)

Fraunhofer IST | [www.ist.fraunhofer.de](http://www.ist.fraunhofer.de)

Fraunhofer IWM | [www.iwm.fraunhofer.de](http://www.iwm.fraunhofer.de)

Fraunhofer IWS | [www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)

Fraunhofer IWU | [www.iwu.fraunhofer.de](http://www.iwu.fraunhofer.de)

Fraunhofer UMSICHT | [www.umsicht.fraunhofer.de](http://www.umsicht.fraunhofer.de)

Fraunhofer Additive Manufacturing Alliance

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

[info@generativ.fraunhofer.de](mailto:info@generativ.fraunhofer.de)

Spokesman of the Alliance

Dr.-Ing. Bernhard Müller

Fraunhofer Additive Manufacturing Alliance

c/o Fraunhofer IWU

Nöthnitzer Strasse 44

01187 Dresden

Germany

Phone +49 351 4772 2136

Cover Photo: Additively manufactured support structure to reduce vibrations in the post-processing by milling © Fraunhofer IPT