

Formnext 2021

News 2.2021

---

Fraunhofer Kompetenzfeld Additive Fertigung



# Editorial

Die formnext-Sonderausgabe der NEWS 2.21 des Fraunhofer Kompetenzfeldes Additive Fertigung liegt vor Ihnen und präsentiert die Highlights aller Aussteller auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand im neuen Corporate Design der Fraunhofer-Gesellschaft und erstmals unter dem neuen Namen, der die erfolgreiche über zwanzigjährige Zusammenarbeit der Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung fortsetzt.

Zu den Ausstellungs-Highlights zählen das Pulverdüsenmesssystem IIssec (Fraunhofer IWS), eine additiv gefertigte Brennkammer für den nachhaltigen Einsatz von Wasserstoff (Fraunhofer IPT), das smarte Zahnrad mit integriertem RFID-Beschleunigungssensor (Fraunhofer IGCV), ein massenfertigungstaugliches Hybridbauteil aus Druckguss und 3D-Druck (Fraunhofer IWU) oder pantographische Strukturen mit mikroskopischen Gelenken als programmierbares Metamaterial (Fraunhofer EMI). Diese und weitere Exponate spiegeln die große Anwendungsvielfalt des 3D-Drucks in der Luft- und Raumfahrt, der Biomedizintechnik, dem Automobilbau und der Energietechnik wider.

Die formnext 2021 ist für uns auch willkommener Anlass, den Call for Paper für die Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference 2023 zu veröffentlichen – freuen Sie sich auf eine spannende Tagung und nutzen Sie die Chance, selbst einen Beitrag einzureichen!

Meine Kolleg\*innen und ich freuen uns auf einen regen Austausch mit Ihnen direkt auf der formnext oder im Nachgang und wünschen Ihnen einen erfolgreichen Messebesuch!

Dr. Bernhard Müller  
Sprecher Fraunhofer Kompetenzfeld Additive Fertigung

## Impressum

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V.  
Hansastraße 27c  
80686 München  
www.fraunhofer.de

## Projektleitung

Susanne Pichotta  
susanne.pichotta@zv.fraunhofer.de  
Joachim Riegel  
joachim.riegel@ipt.fraunhofer.de

## Redaktion und Satz

Fraunhofer Kompetenzfeld Additive  
Fertigung  
Nancy Heinze  
www.additiv.fraunhofer.de  
info@additiv.fraunhofer.de

## Bildnachweis

Cover: Fraunhofer IGCV, Eva Wiest  
Alle weiteren Bildrechte liegen bei  
den jeweiligen beitragsstellenden  
Fraunhofer-Instituten.



The Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference (DDMC) is a cutting-edge forum for discussion on Additive Manufacturing. Highlights of our biennial conference are:

- High-profile keynote speakers
- Numerous stage and poster presentations
- Industrial contributions
- Evening networking event in historic location
- Best Paper and Best Poster Award
- Conference proceedings with all full papers

**DDMC 2022 has been postponed to 2023 to ensure another exciting live event**

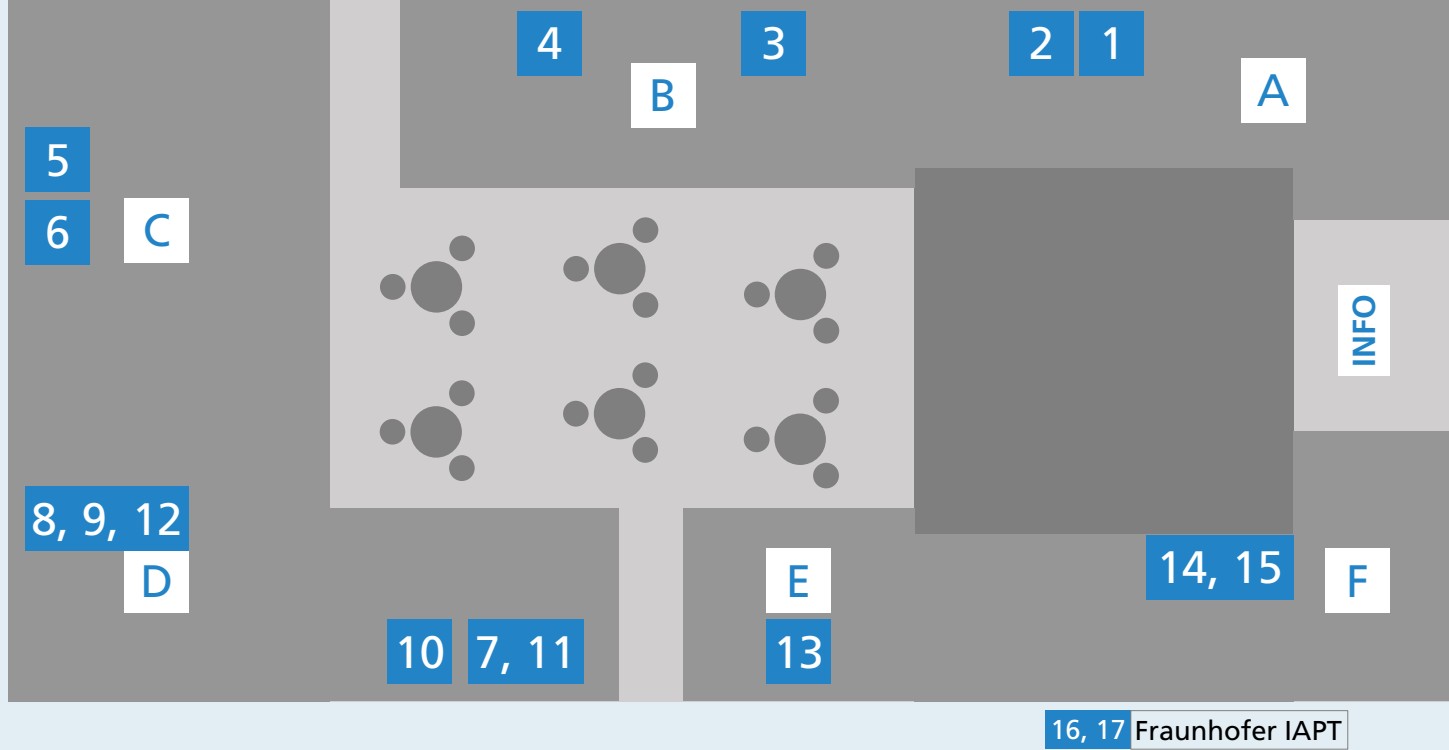
The conference will take place in Berlin.

To keep you updated in 2022, we have planned a special webinar series

- Bi-monthly live web meetings  
Kick-off in spring 2022  
Revisiting keynotes of DDMC 2020, including live statements from speakers
- Panel rounds with representatives from industry and Fraunhofer
  - Scientific Committee panel rounds and presentations



- A** Fraunhofer IPT
- B** Fraunhofer IFAM
- C** Fraunhofer ILT
- D** Kompetenzfeld Additive Fertigung
- E** Fraunhofer IGD
- F** Fraunhofer IWS



Editorial .....	2
Unsere Aussteller .....	6
<b>1</b> AM Brennkammer für den nachhaltigen Einsatz von Wasserstoff .....	8
<b>2</b> AM Schleifscheibe verbessert Kühlung und verhindert Schleifbrand .....	10
<b>3</b> Filigrane Bauteile und hohe Produktivität: LMM und MoldJet® .....	12
<b>4</b> Metal Binder Jetting – Erweiterte Möglichkeiten am Fraunhofer IFAM .....	14
<b>5</b> Mehr Produktivität und Robustheit: LPBF mit Lasermodulation .....	16
<b>6</b> Tailored Laser Powder Bed Fusion .....	19
<b>7</b> Einzug von AM Hartmetallbauteilen in die Praxis .....	21
<b>8</b> Sequenzielle und simultane Funktionalisierung keramischer AM-Bauteile ...	22

<b>9</b> Komplettlösungen für neuartige Materialien .....	25
<b>10</b> Funktionsintegration in additiv gefertigte Kunststoff-Bauteile .....	26
<b>11</b> Smartes Zahnrad .....	29
<b>12</b> CastAutoGen - eine hybride Prozesskette für die Automobilproduktion ....	30
<b>13</b> GraMMaCAD – Digitale Pipeline für gradierte Produkte .....	33
<b>14</b> »POWDERscreen« erfasst Pulverpartikel .....	35
<b>15</b> »Llsec« durchleuchtet den Pulverstrom .....	37
<b>16</b> Mobile Fabrikkonzepte und Assistenzsysteme zum dezentralen AM. ....	39
<b>17</b> Individuelle Serienproduktion durch Metall Binder Jetting .....	41
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. ...	42

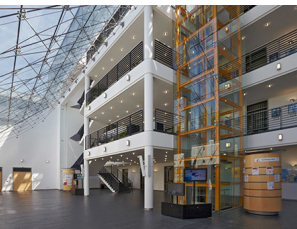
# Unsere Aussteller



Geschäftsstelle, Fraunhofer IWU, Dresden



Fraunhofer IFAM, Dresden und Bremen



Fraunhofer IGD, Darmstadt

## Fraunhofer Kompetenzfeld Additive Fertigung

Das Fraunhofer Kompetenzfeld Additive Fertigung integriert deutschlandweit 19 Institute und bildet damit die gesamte Prozesskette der additiven Fertigung ab. Dies umfasst die Entwicklung, Anwendung und Umsetzung additiver Fertigungsverfahren und Prozesse. Die langjährige Erfahrung aus nationalen und internationalen Industrieaufträgen und Forschungsprojekten bildet die Grundlage, kundenindividuelle Konzepte zu entwickeln und komplexe Aufgaben zu bewältigen.

## Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung IFAM

Das Fraunhofer IFAM bietet die gesamte Bandbreite der metallpulverbasierten AM-Prozesse, um einen umfassenden Zugang zu den verschiedenen Möglichkeiten der additiven Fertigungstechnologien zu ermöglichen. Das Fraunhofer IFAM in Bremen verfügt in seinem umfassend ausgestatteten Additive-Manufacturing-Technikum über die kompletten Prozessketten des LBM<sup>1</sup> und MBJ<sup>2</sup>. Am Fraunhofer IFAM in Dresden vereint das Innovation Center Additive Manufacturing ICAM® die Technologien SEBM<sup>3</sup>, 3D-Siebdruck, FFF<sup>4</sup>, Gel Casting, MoldJet® und LMM<sup>5</sup> unter einem Dach.

## Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD

Das Fraunhofer IGD ist die international führende Einrichtung für angewandte Forschung im Visual Computing. Eine Vielzahl von Basistechnologien ist nötig, um Bilder, Ton, Video oder interaktive 3D-Welten in hoher visueller Qualität zum Betrachter zu bringen. Unsere Visualisierungen schaffen die Möglichkeit, komplexe und zusammenhängende Sachverhalte durch Sensordaten und Simulationen darzustellen. Dabei ist es unser Ziel, das immer komplexere Computersysteme und steigende Datenmengen für den Menschen beherrschbar bleiben.

## Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Die Kernkompetenzen des Fraunhofer ILT umfassen die Entwicklung neuer Laserstrahlquellen und -komponenten, Lasermess- und Prüftechnik sowie Laserfertigungstechnik. Hierzu zählt beispielsweise das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie das Oberflächenvergüten, die Mikrofertigung und das Additive Manufacturing. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik. Unser Leistungsspektrum reicht von Machbarkeitsstudien über Verfahrensqualifizierungen bis hin zur kundenspezifischen Integration von Laserprozessen in die jeweilige Fertigungslinie.

## Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Das Fraunhofer IPT erarbeitet Systemlösungen für die vernetzte, adaptive Produktion nachhaltiger und ressourcenschonender Produkte sowie der zugehörigen Dienstleistungen. Die Schwerpunkte liegen in den Bereichen Prozesstechnologie, Produktionsmaschinen, Produktionsqualität und Messtechnik sowie Technologiemanagement und reichen von den Grundlagen bis zur digitalen Transformation der Produktion.

## Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Das Fraunhofer IWS steht für Innovationen in der Laser- und Oberflächentechnik. Die Dresdner Forscher bieten Lösungen aus einer Hand – von der Entwicklung neuer Verfahren über die Integration in die Fertigung bis hin zur anwendungsorientierten Unterstützung. Die Felder Systemtechnik und Prozesssimulation ergänzen die Kernkompetenzen.

<sup>1</sup>LBM: Laser Beam Melting

<sup>2</sup>MBJ: Metal Binder Jetting

<sup>3</sup>SEBM: Selective Electron Beam Melting

<sup>4</sup>FFF: Fused Filament Fabrication

<sup>5</sup>LMM: Lithography-based Metal Manufacturing



Fraunhofer ILT, Aachen



Fraunhofer IPT, Aachen



Fraunhofer IWS, Dresden



**Wasserstoff ist das Erdöl von morgen.«**

**Prof. Dr.-Ing. Harald Funke,**

Professor für Gasturbinen und Flugtriebwerke an der FH Aachen und Projektpartner des Fraunhofer IPT

## Additiv gefertigte Brennkammer für den nachhaltigen Einsatz von Wasserstoff

Das Pariser Klimaabkommen, Flight Path 2050 und ACARE 2050 fordern eine rasche Entwicklung hin zur emissionsneutralen Mobilität. Wasserstoff ( $H_2$ ) wird dabei eine wichtige Rolle einnehmen. Problematisch ist jedoch, dass bei der Wasserstoffverbrennung zwar kein Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ), wohl aber mehr Stickoxide ( $NO_x$ ) als bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen. Eine Neuauslegung des Wasserstoffverbrennungsprozesses ist notwendig.

Reduzierte  $NO_x$ -Werte liefert das MicroMix (MMX)-Verfahren. Im Vergleich zu konventionellen Verbrennungsprozessen mit einigen großen Flammen werden beim MMX-Verfahren viele kleine Flammen verwendet. Die Fertigung einer MMX-Brennkammer

stellt Ingenieure der Produktionstechnik indes vor große Herausforderungen, etwa hinsichtlich einer gleichmäßigen Verteilung des Wasserstoffs und der Dichtigkeit der Bauteile.

Wie lässt sich zeitnah ein komplexes, integrales Design mit reproduzierbaren, innenliegenden Strukturen für das MMX-Verfahren fertigen? Das Fraunhofer IPT verfolgt den Ansatz der Additiven Fertigung: Mit dem Laser Powder Bed Fusion (LPBF)-Verfahren kann die  $H_2$ -Brennkammer als Integralbauteil gestaltet und Kernelemente vollständig zueinander ausgerichtet aufgebaut werden. Innere Stützstrukturen und Totwassergebiete werden vermieden. Zudem wurden die Flammringe

strömungstechnisch durch Änderungen der äußeren Geometrie verbessert, die Halterungen der Speichenzentrierung in den Flammring integriert und die Luftleitbleche bereits beim Design zueinander ausgerichtet. In ersten Versuchen führte das Konzept zu einer höheren Dichtigkeit der Brennkammer und einer verbesserten Verteilung des Wasserstoffs.

Die MMX-Brennkammer birgt nicht nur Fragestellungen für die additive, sondern auch für die konventionelle Fertigung, denn neben der Wärmebehandlung und dem Abtrennen der Bauplattform sind weitere subtraktive Fertigungsschritte notwendig. Es gilt hier in den nächsten Arbeitsschritten insbesondere, einen Fräsprozess zu entwickeln, der speziell für solche filigranen, losgelagerten Luftleitbleche

sowie die engen Toleranzen bei der Gasausströmung ausgelegt ist.

Durch eine intensive Zusammenarbeit und die Erforschung aller Fertigungsschritte ist das Fraunhofer Team gemeinsam mit seinen Partnern auf dem Weg, einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele und zur  $CO_2$ -neutralen Energiegewinnung zu leisten.

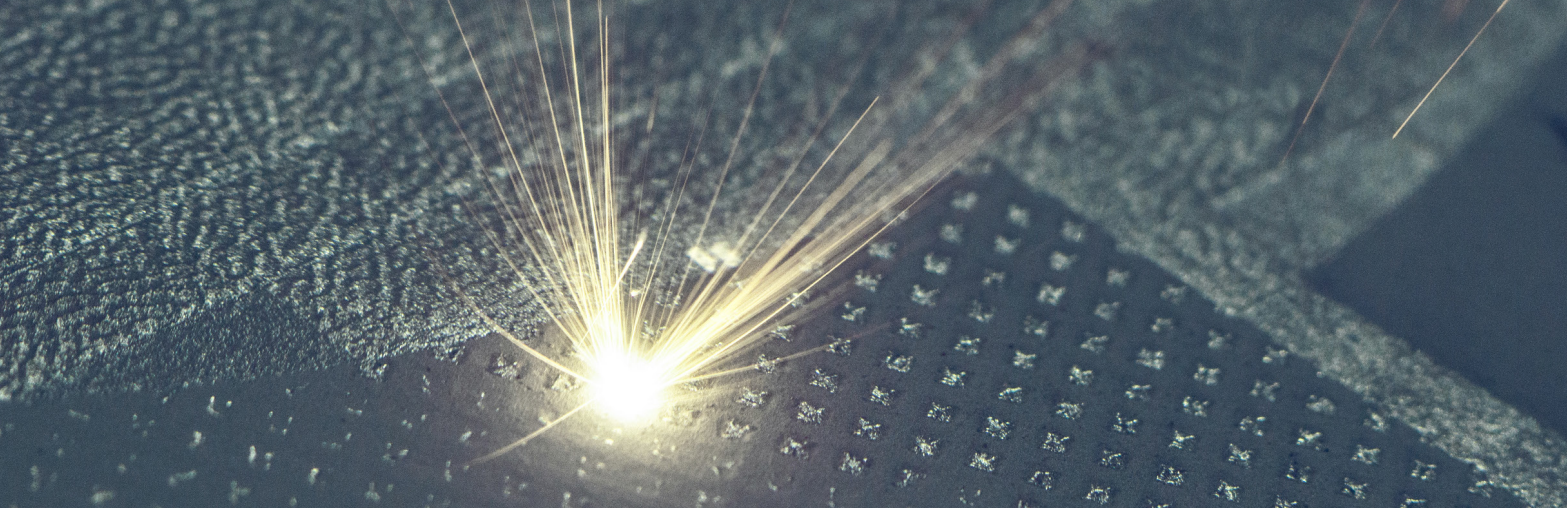
**Fraunhofer-Institut für  
Produktionstechnologie IPT**

Robin Day, M.Sc.

☎: +49 (0) 241 8904-161

✉: robin.day@ipt.fraunhofer.de

🌐: www.ipt.fraunhofer.de



## Additive hergestellte Schleifscheibe sorgt für eine verbesserte Kühlung und verhindert Schleifbrand

Additive Fertigungsverfahren wie das Laser Powder Bed Fusion (LPBF) erweitern die Freiheiten von Konstruktion und Produktion: Auch Geometrien, die durch konventionelle Fertigungsverfahren nicht oder nur sehr aufwändig hergestellt werden können, lassen sich mithilfe von LPBF einfach und sicher fertigen. Gewinnbringend können diese neuen Designfreiheiten im Bereich der Werkzeugtechnik eingesetzt werden, etwa zur Gewichtsoptimierung und zur gezielten Führung von Gasen oder Flüssigkeiten.

Im Rahmen einer Designstudie hat ein Team des Fraunhofer IPT kürzlich Konzepte für additiv gefertigte Schleifscheibenkörper

entwickelt und umgesetzt. Das Fraunhofer Konzept ermöglicht die gezielte Zuführung von Kühlschmierstoff (KSS) durch den Schleifscheibenkörper in die Kontaktzone zwischen Werkzeug und Werkstück. Eine effektive Zuführung des KSS verhindert somit die als »Schleifbrand« bezeichnete thermische Schädigung des Werkstoffs. Besonders bei breiten Schleifscheiben oder der Fertigung von Nuten ist eine ausreichende Kühlung der Kontaktzone durch die seitliche KSS-Zuführung nicht immer sichergestellt.

Als Demonstrator wurde ein Schleifscheibenkörper, bestehend aus sieben Segmenten hergestellt, in denen jeweils

KSS fließen kann, deren innere Struktur aber vollkommen unterschiedlich ist. Die Designs umfassen unterschiedliche Kanalstrukturen und stabile Säulen oder Gitterstrukturen. Notwendige Stützstrukturen sind so gestaltet, dass sie vollständig entfernt werden können. Die inneren Strukturen werden stützstrukturfrei gedruckt.

Die Möglichkeiten, die durch den Einsatz additiver Fertigungsverfahren erschlossen werden, sind vielfältig und nicht nur auf Schleifscheiben für die Werkzeugtechnik begrenzt. Daher plant das Fraunhofer IPT den erweiterten Einsatz der Additiven Fertigung zur Neukonzeptionierung und Verbesserung von Werkzeugen – sowohl

## Laser Powder Bed Fusion (LPBF)

Beim LPBF wird mittels Laserstrahlung eine Schweißspur im Pulverbett erzeugt. Mehrere Schweißspuren nebeneinander ergeben eine Schicht, mehrere Schichten übereinander ein Bauteil. So entsteht Schicht für Schicht aus einer CAD-Datei ein 3D-gedrucktes Bauteil aus Metall.

für konventionelle Fertigungsverfahren wie Schleifen und Fräsen als auch für nichtkonventionelle Verfahren wie das Elektrochemische Abtragen (ECM). Die Integration additiver Verfahren wird dazu beitragen, die Leistung der Werkzeuge zu steigern und ihr Einsatzverhalten zu verbessern.

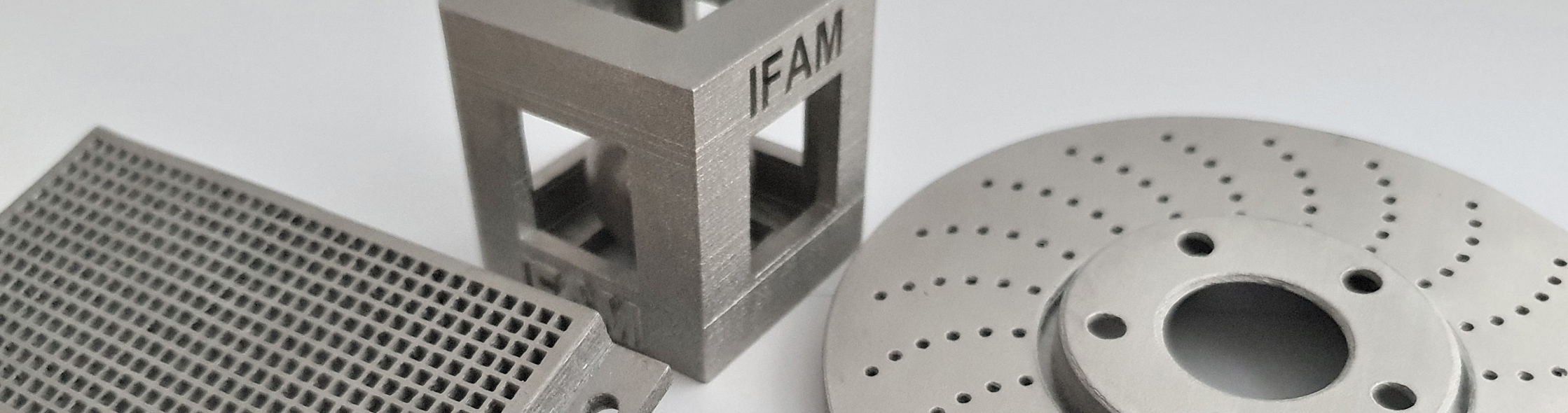
## Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Robin Day, M.Sc.

☎: +49 (0) 241 8904-161

✉: robin.day@ipt.fraunhofer.de

🌐: www.ipt.fraunhofer.de



## Neue Verfahren für filigrane Bauteile und hohe Produktivität: LMM und MoldJet®

Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden hat mit den Verfahren MoldJet® und Lithography-based Metal Manufacturing (LMM) sein Portfolio in der sinterbasierten Additiven Fertigung erheblich erweitert. Dabei runden die neuen Verfahren die Möglichkeiten insbesondere für filigrane Bauteile (LMM) und für hohe Produktivitäten (MoldJet®) ab. Beide Verfahren wurden erstmals auf der formnext 2019 präsentiert.

Beim LMM handelt es sich um ein Stereolithographieverfahren für metallische Bauteile der Firma Incus. Dabei wird ein

Pastensystem, bestehend aus Metallpulver, einem organischen Träger und einem lichtempfindlichen Polymer, lagenweise selektiv belichtet. Nach dem Druck werden die nicht belichteten Bereiche entfernt und die Bauteile zu vollmetallischen Strukturen versintert. LMM ermöglicht so filigranste 3D-Bauteile mit Auflösungen von 100 µm, die mit anderen Verfahren nicht erreicht werden können.

Beim MoldJet® der Firma Tritone wird lagenweise zunächst mit einem Wachs das Negativ des Zielbauteils im Inkjetverfahren gedruckt. Anschließend werden die offenen Bereiche der Lage mit einer

metallpulverhaltigen Paste gefüllt. Die gedruckte Wachsform dient dabei als Stützstruktur, so dass auch Überhänge problemlos gefertigt werden können. Nach Beendigung des Druckes wird die Wachsform entfernt und das Grünteil wie beim LMM zu einem vollmetallischen Bauteil versintert. In der vom Fraunhofer IFAM genutzten Anlagentechnik wird ein Revolversystem mit sechs Drucktischen verwendet, das eine sehr hohe Produktivität von bis zu 1600 cm³/h ermöglicht.

Mit der strategischen Zusammenarbeit mit den Herstellerfirmen Incus und Tritone bietet das Fraunhofer IFAM in Dresden seinen Kunden zusammen mit den bereits vorhandenen Technologien Fused Filament Fabrication (FFF), 3D-Siebdruck, Gelcasting und Elektronenstrahlschmelzen (EBM) eine

*Gesinterte Bauteile, hergestellt mit MoldJet®*

breite Auswahl an metallischen additiven Verfahren, um neuen industriellen Anforderungen gezielt zu begegnen. Gemeinsam mit den am Fraunhofer IFAM in Bremen genutzten Verfahren Metal Binder Jetting und Laserstrahlschmelzen (LBPF) stehen Partnern alle relevanten Technologien zur Verfügung.

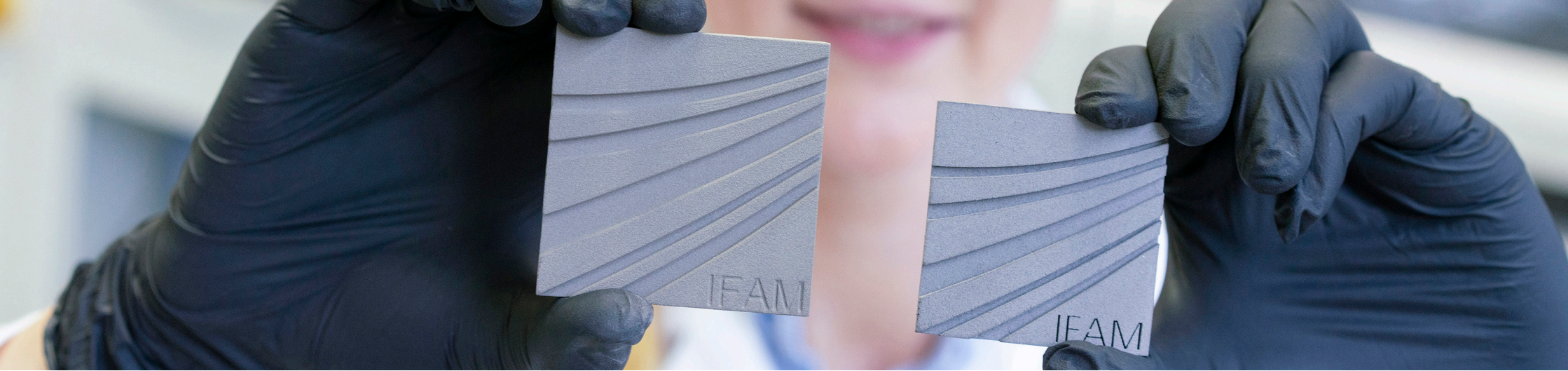
**Fraunhofer-Institut für  
Fertigungstechnik und Angewandte  
Materialforschung IFAM**

Dr. Thomas Studnitzky

☎: +49 (0) 351 2537-339

✉: thomas.studnitzky@ifam-dd.fraunhofer.de

🌐: www.ifam-dd.fraunhofer.de



## Metal Binder Jetting – Erweiterte Möglichkeiten am Fraunhofer IFAM

Im Sommer 2021 hat das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen eine neue Metal Binder Jetting-Anlage in Betrieb genommen. Mit 25 Litern Bauraumvolumen ermöglicht dieser 3D-Drucker den Lückenschluss zwischen Prototypenfertigung in Stückzahl Eins und werkzeug-basierter Großserienfertigung.

Beim binder-basierten Metall-3D-Druck wird durch das Eindringen eines Binders in ein Metallpulverbett ein Zusammenhalt der Pulverpartikel erzeugt. Durch schichtweise Wiederholung entsteht ein dreidimensionales, so genanntes Grünteil. Dieses wird nach dem Drucken aus dem Pulverbett

entnommen und anschließend im Sinterofen thermisch nachbehandelt. Hier erfolgt in einem Ofengang - durch Entbindern und Sintern - der letzte Schritt zum metallischen Bauteil.

Im Vergleich zu anderen, beispielsweise den laser-basierten 3D-Druck-Verfahren, werden mit dem Metal Binder Jetting erheblich größere Baugeschwindigkeiten realisiert. Zudem erlaubt der Prozess die Verarbeitung von Materialien, die mit anderen 3D-Druck-Verfahren bisher nicht verarbeitbar waren, beispielsweise gar nicht oder schlecht schweißbare Metalllegierungen.

*Mittels Metal Binder Jetting hergestellte Teile vor (links) und nach (rechts) dem Sintern*

„Das anhaltende Interesse am industriellen 3D-Druck als Ergänzung konventioneller Fertigungsverfahren hat uns bewogen, hier in neue Anlagentechnik zu investieren. Die Anlage 25 PRO des Herstellers ExOne stellt eine ideale Erweiterung unserer bisherigen Möglichkeiten dar“, sagt Claus Aumund-Kopp, Gruppenleiter Additive Fertigung des Fraunhofer IFAM in Bremen. Bisher waren am Fraunhofer IFAM in Bremen drei ExOne-Drucker vom Typ INNOVENT bzw. INNOVENT plus in Betrieb.

Neben dem Betrieb von nunmehr vier 3D-Druckern für das Metal Binder Jetting ist die Metallpulveranalyse und -handhabung seit Jahrzehnten Bestandteil der Aktivitäten des Fraunhofer IFAM. Um das Rohmaterial Metallpulver bewerten und verarbeiten zu können sind diverse Geräte zur Pulveranalyse und -aufbereitung

vorhanden. Die zum Prozess notwendigen Entbinder- und Sinteröfen werden ebenfalls betrieben. Das Fraunhofer IFAM verfügt damit über eine umfassende technische Ausrüstung und Expertise entlang der gesamten Prozesskette des Metal Binder Jetting.

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

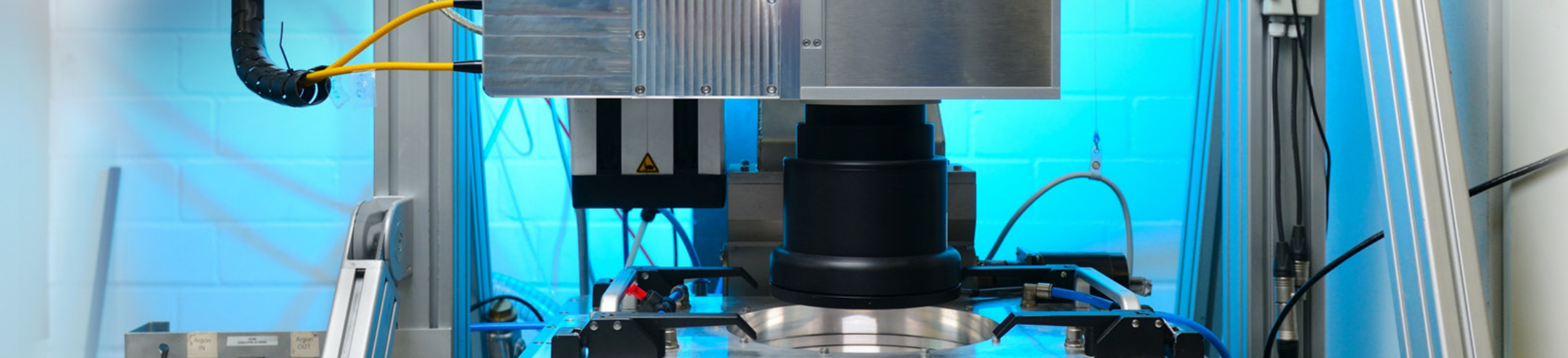
Claus Aumund-Kopp

☎: +49 (0) 421 2246-226

✉: claus.aumund-kopp@ifam.fraunhofer.de

🌐: [www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)





## Vergrößerung von Produktivität und Robustheit durch LPBF mit zeitlicher und örtlicher Lasermodulation

Die additive Fertigung mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF) ermöglicht durch den schichtweisen Herstellungsprozess die Fertigung von Funktionsbauteilen mit nahezu uneingeschränkter geometrischer Komplexität. Jedoch hemmt die vergleichsweise geringe Verfahrensproduktivität einen breiten industriellen Einsatz des LPBF in der Produktion. Die für das LPBF genutzten Maschinen nutzen typischerweise einen Laserstrahldurchmesser zwischen  $d_s = 50 - 100 \mu\text{m}$ . Bei gleichzeitigem Einsatz großer Laserleistungen von bis zum PL,  $\text{max} = 1000 \text{ W}$  führt dies zu großen Maximalintensitäten und somit zu einem größeren Risiko von Bauteildefekten und Prozessinstabilitäten durch Tiefschweißeffekte, verstärkter Ausbildung von

Prozessnebenprodukten und lokalen Überhitzungseffekten. Aus diesem Grund wird in der Praxis häufig auf die kostenintensive Multiplikation von Laser-Scanner-Systemen zur Vergrößerung der Produktivität von LPBF-Maschinen durch parallelisierte Bearbeitung zurückgegriffen. Um die daraus resultierenden aktuellen Restriktionen des LPBF bezüglich der erreichbaren Produktivität und Prozessrobustheit, sowie des verarbeitbaren Werkstoffspektrums zu überwinden, erforscht das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT im Rahmen des, durch das BMBF geförderten, Forschungscampus für Digital Photonic Production DPP gemeinsam mit weiteren Forschungs- und Industriepartnern Ansätze der zeitlichen und örtlichen Laserstrahlmodulation

*Das entwickelte Dual-Faser Array erlaubt die individuelle Ansteuerung zweier Singlemode-Faserlaser die über einen einzelnen Galvanometer-scanner abgelenkt werden*

für das LPBF. Dabei sollen durch Anpassung des Laserstrahldurchmessers und der Laserintensitätsverteilung, sowie durch komplexe Multistrahl-Konzepte und dynamische Laserstrahloszillation eine Steigerung der Produktivität pro Laserstrahl um mindestens 100 % bei gleichbleibender Bauteilqualität, sowie die robuste Verarbeitung neuer Werkstoffklassen mittels LPBF ermöglicht werden.

Ein Ansatz, der im Rahmen des DPP adressiert wird, ist das LPBF mittels eines Dual-Faserlaser-Arrays. Im Vergleich zum konventionellen LPBF werden dabei zwei individuell adressierbare Singlemode-Faserlaser über einen einzelnen Galvanometer-scanner abgelenkt. Durch eine eigens am ILT entwickelte Multistrahl-Optik können die Laserspots hinsichtlich ihrer relativen Orientierung flexibel und dynamisch angepasst werden. Hieraus ergeben sich

zusätzliche Freiheitsgrade, die beispielsweise zur Minimierung der notwendigen Hatch-Vektoren oder zur selektiven Vor- und Nachwärmung des umgeschmolzenen Materials genutzt werden können. Die grundsätzliche Machbarkeit und das Potenzial des LPBF mittels Dual-Faserlaser-Array konnte unterdessen im Rahmen des Fraunhofer Leitprojektes futureAM demonstriert und anhand von Hochgeschwindigkeits-Aufnahmen des LPBF-Prozesses analysiert werden.

### Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Tim Lantzsch, M.Sc.

☎: +49 (0) 241 8906-193

✉: [tim.lantzsch@ilt.fraunhofer.de](mailto:tim.lantzsch@ilt.fraunhofer.de)

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

## Tailored Laser Powder Bed Fusion

### Geometrie- und anwendungsangepasste LPBF Prozessführung eröffnet neue Möglichkeiten für die additive Fertigung

Beim Laser Powder Bed Fusion (LPBF) werden hochkomplexe Bauteile durch schichtweises Umschmelzen von pulverförmigem Ausgangsmaterial gefertigt. Nach dem Auftragen einer Pulverschicht wird der Laser mit einer im Vorfeld festgelegten Bearbeitungsstrategie bestehend aus Scanreihenfolge und Prozessparametern über die umzuschmelzenden Bereiche der Pulverschicht bewegt. Bei der Auswahl der Bearbeitungsstrategie werden die geometrischen Charakteristika des Bauteils derzeit allerdings nur in geringfügigem Maße berücksichtigt: Die Bearbeitungsstrategie wird für das gesamte Bauteil festgelegt, sodass bspw. filigrane und massive Bauteilbereiche mit der gleichen Strategie bearbeitet werden. Resultat sind Formabweichungen, Bauteilverzug sowie Einschränkungen in Oberflächengüte und Produktivität. Zudem ergeben sich für den Anwender wenig Einflussmöglichkeiten auf die Qualität der Bauteiloberfläche.

Am Fraunhofer ILT wird eine maßgeschneiderte LPBF-Prozessführung entwickelt, bei der die zu fertigende Bauteilgeometrie und die Anforderungen des Anwenders

verstärkt berücksichtigt werden. Dazu werden die notwendigen Modifikationen an der Anlagen- und Steuerungstechnik durchgeführt, um eine Einstellung der LPBF-Prozessparameter bis auf die Ebene einzelner Scanvektoren zu ermöglichen. Des Weiteren wurde eine Software zur Bauteilanalyse entwickelt, um eine geometriespezifische Zuweisung der Prozessparameter zu ermöglichen.

Die anwendungsangepasste LPBF Prozessführung ermöglicht die Fertigung vielfältiger Bauteilgeometrien – zum Beispiel stützenfreie Überhänge von bis zu 10°.

#### Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Tobias Pichler, M.Sc.

☎: +49 (0) 241 8906-8360

✉: tobias.pichler@ilt.fraunhofer.de

🌐: www.ilt.fraunhofer.de

## Einzug der additiven Fertigung von Hartmetallbauteilen in die Praxis

### Additiv und konventionell gefertigte Hartmetallbauteile erreichen vergleichbare Eigenschaften

Hartmetalle, ein Verbundmaterial aus Wolframcarbid und Cobalt, stehen aufgrund der Designfreiheit immer stärker im Fokus der Industrialisierung der additiven Fertigung.

Am Fraunhofer IKTS werden verschiedene pulverbasierte und filamentbasierte Verfahren hinsichtlich des Materialsystems adaptiert und weiterentwickelt. Hierbei haben sich die zwei Verfahren Binder-Jetting (BJT) und Fused Filament Fabrication (FFF) als besonders effizient herausgestellt. Das BJT punktet mit einer sehr hohen Druckgeschwindigkeit und großem Bau-raumvolumen. Durch den pulverbasierten Prozess werden Grünkörper mit Gründichten unter 40 % der theoretischen Dichte erzeugt, die durch eine nachfolgende Sinterung zu 100 % dichten Bauteilen verdichtet werden können. Die Realisierung von Gründichten über 50 % ist mit FFF möglich. Bei dem filamentbasierten Prozess kommt es jedoch auf die richtige Ablage der Filamente an.

Die erzeugten Bauteile beider Prozesse können mit konventioneller Ofentechnik entbindert und gesintert werden. Hierbei entstehen dichte und porenfreie Bauteile mit Materialeigenschaften vergleichbar mit konventionell gefertigten Bauteilen. Es sind Härten von über 1700 HV10 und Bruchzähigkeiten von über  $22,1 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  erreichbar. Durch die Veränderung des Materialsystems hinsichtlich des metallischen Bindergehaltes und der Korngrößen lässt sich ein weites Eigenschaftsfeld aufziehen und somit viele Anwendungsfelder abdecken.

#### Hartmetallbauteil

Additiv mittels BJT (oben) und FFF (unten) gefertigte Hartmetallbauteile.

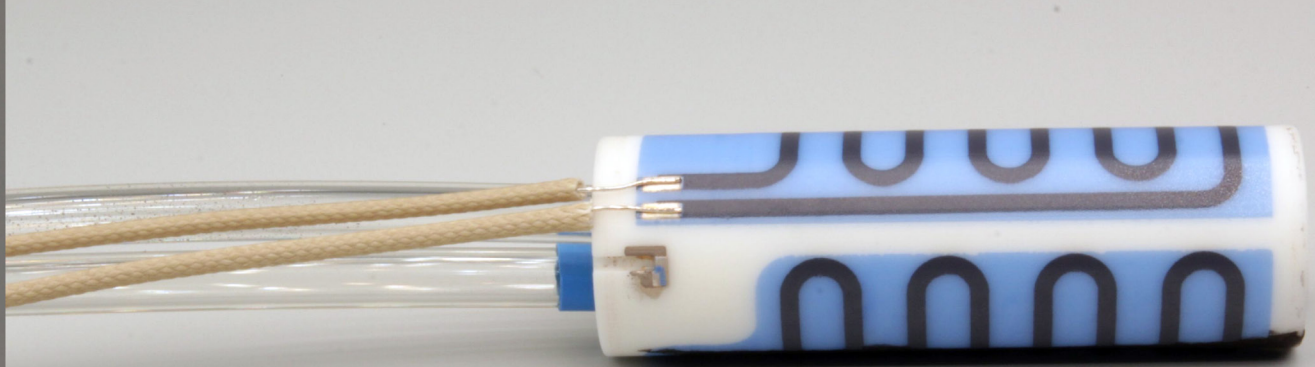
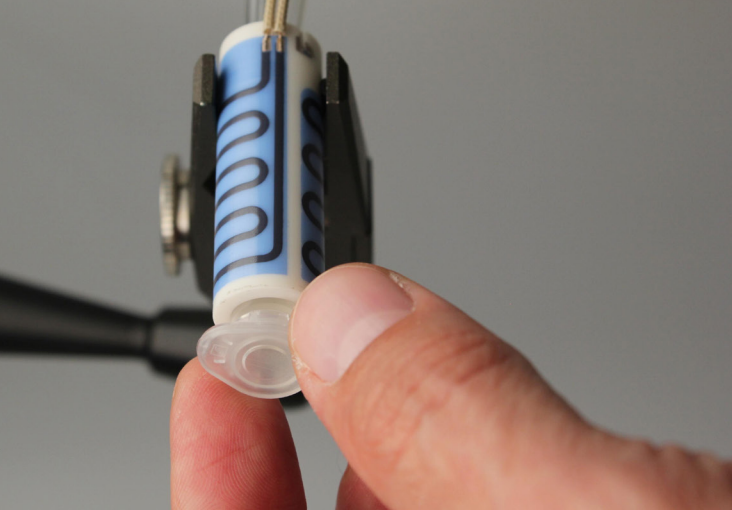
#### Fraunhofer-Institut Keramische Technologien und Systeme IKTS

Dipl.-Ing. Christian Berger

☎: +49 (0) 351 2553-7815

✉: christian.berger@ikts.fraunhofer.de

🌐: www.ikts.fraunhofer.de



## Sequenzielle und simultane Funktionalisierung keramischer AM-Bauteile

### Eigenschafts- durch Materialkombination

Gerade für die aufgrund der hohen Härte schwer zu bearbeitenden keramischen Werkstoffe stellt die Additive Fertigung einen „Gamechanger“ dar. Bisher unbekannte Bauteilgeometrien können nun direkt realisiert und Funktionen wie z.B. Kühlkanal- oder Mischerstrukturen integriert werden.

Durch die Kombination mit funktionellen Materialien können die herausragenden mechanischen, chemischen und thermischen Eigenschaften keramischer Werkstoffe noch erweitert werden, so dass Bauteile mit z.B. integrierten elektrischen

Leitzugstrukturen, passiven elektrischen Bauelementen, Sensoren oder Aktoren entstehen. Dabei stehen verschiedene Fertigungsstrategien zur Verfügung.

Bei der sequenziellen Fertigung erfolgen zunächst die Formgebung und Sinterung des keramischen Substrates. In einem zweiten Fertigungsschritt werden anschließend die funktionellen Strukturen auf der Substratoberfläche aufgebracht und ebenfalls thermisch prozessiert. Basis dieser Funktionalisierung sind die in der Elektroniktechnologie bekannten Materialsysteme der Dickschichttechnik. Dadurch wird zudem gewährleistet, dass weitere elektronische oder sensorische Bauelemente bestückbar sind sowie über eine hochtemperaturstabile Kontaktierung die elektrische Integration

in übergeordnete Systeme erfolgen kann. Infolge der mehrstufigen Prozessierung können die Sinterbedingungen optimal auf die verschiedenen Materialien angepasst werden. Gegenwärtig ist die Abscheidung der funktionellen Materialien nur an zugänglichen Oberflächen möglich. Weiterentwickelte Techniken, die diese Einschränkung umgehen, befinden sich in der Entwicklung. Das Potential dieser Methodik konnte bereits für verschiedene thermische Zyklrierprozesse (z.B.  $\mu$ PCR und Heiz-Kühl-Systeme für Lötprozesse) demonstriert werden.

Bei der simultanen Fertigung werden die verschiedenen Materialien in einem Prozess verarbeitet und thermisch co-prozessiert. Dadurch ist die geometrische Freiheit bei

der Anordnung der Materialien viel höher, das verfügbare Materialportfolio aber auch signifikant limitiert. Durch die Kombination verschiedener  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Mischungen werden aktuell keramische Zünder und Heizer hergestellt, aber auch Dichte- oder Farbgradienten wurden erfolgreich realisiert.



Unsere Technologieplattform ermöglicht die Herstellung hochrobuster Bauteile mit integrierter Sensorik oder Aktorik!«

Dr. Lars Rebenklau,

Gruppenleiter, Systemintegration und Aufbau- und Verbindungstechnik

### Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Dipl.-Ing. Uwe Scheithauer

☎: +49 (0) 351 2553-7671

✉: uwe.scheithauer@ikts.fraunhofer.de

🌐: www.ikts.fraunhofer.de

## Komplettlösungen für neuartige Materialien

### Pantographische Struktur mit mikroskopischen Gelenken als programmierbares Metamaterial

Das Fraunhofer EMI entwickelt und erforscht neue Materiallösungen für bisher nicht zugängliche Anwendungen. Es ist spezialisiert auf Sonderwerkstoffe mit komplexen Geometrien, die mit konventionellen Methoden nicht herstellbar sind.

Mechanische Metamaterialien besitzen eine Struktur, mit der die Materialeigenschaften gezielt kontrolliert werden. In programmierbaren Materialien können zusätzlich komplexe und lokal unterschiedliche Funktionen integriert werden. Im Fraunhofer Cluster Programmierbare Materialien werden solche Materialien institutsübergreifend entwickelt.

Ein Beispiel ist der Pantograph (siehe Abbildung), der durch gedruckte Gelenke unterschiedlichste reversible Verformungen ausführen kann. Die Designfreiheit der Gelenke ermöglicht eine programmierte Formänderung, wie sie mit konventionellen Materialien nicht erreichbar ist. Diese Formveränderbarkeit ist nicht mehr durch die Dehnbarkeitsgrenzen des zugrunde liegenden Werkstoffes begrenzt und ist zudem ermüdungsarm.

Speziell am Fraunhofer EMI entwickelte Algorithmen steigern dabei die Effektivität der simulativ unterstützten Auslegung solcher Strukturen durch einen hohen Automatisierungsgrad.

Am Fraunhofer EMI können diese Materialien mit Auflösungen auf der Mikrometerskala im Laserstrahlschmelzen hergestellt werden. Es wird dabei der bestmögliche Herstellungsprozess von Prototypen auf den eigenen Anlagen untersucht und umgesetzt, von filigranen Strukturen bis hin zu größeren Bauteilen. Durch umfangreiche analytische Methoden wird ein tiefes Verständnis der physikalischen Prozesse bei 3D-gedruckten Materialien geschaffen.

#### Pantographisches Metamaterial

Durch mikroskopisch angepasstes Design von 3D-gedruckten Gelenken ermöglicht der Pantograph gleichzeitig eine ausgeprägte Lastverteilung und unterschiedlichste Formänderungen.

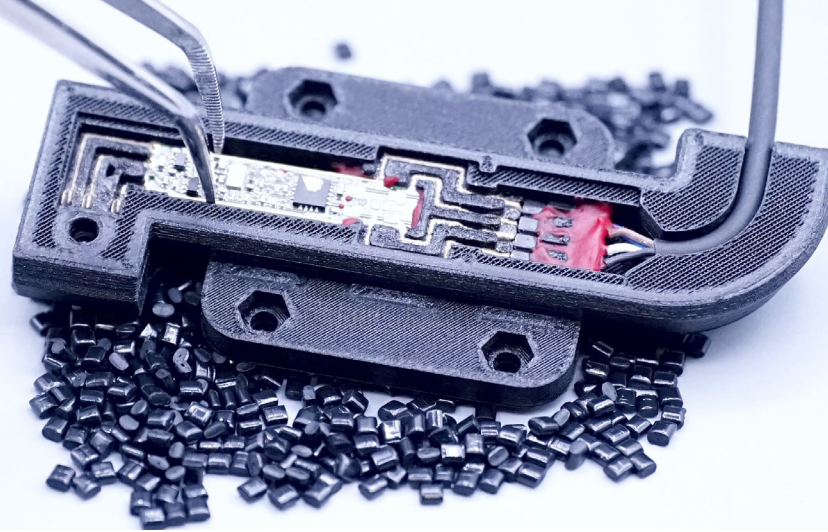
#### Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI

Florian Gutmann, M.Sc.

☎: +49 (0) 761 2714 593

✉: [florian.gutmann@emi.fraunhofer.de](mailto:florian.gutmann@emi.fraunhofer.de)

🌐: [www.emi.fraunhofer.de](http://www.emi.fraunhofer.de)



**Die additive Fertigung hat das Potenzial, neue Produkte und Geschäftsmodelle zu erschließen. Dabei wird die Funktionsintegration in Zukunft eine Schlüsselrolle spielen«**

**Oliver Refle**

Abteilungsleiter Additive Fertigung

## Funktionsintegration in additiv gefertigte Kunststoff-Bauteile

### Gedruckte Elektronik und individualisierte Sensoren

Additive Fertigungsverfahren (AM) für Polymere bieten die Möglichkeit, hochkomplexe multimaterial Geometrien herzustellen. Das Fraunhofer IPA forscht im Bereich der additiven Fertigung von technischen und Hochtemperatur-Polymeren sowie der Integration von leitfähigen Strukturen und diskreten Bauteilen.

Ein zentrales Forschungsfeld im Bereich AM am Fraunhofer IPA ist die Kombination von polymerbasierten AM-Prozessen und (Mikro-)Montagetechnologien. Mit dieser hybriden Verfahrenskombination ist die Integration diskreter elektrischer oder mechanischer Komponenten in komplexe additiv gefertigte Bauteile und deren

Verbindung mit gedruckten Leiterbahnen möglich. Das Fraunhofer IPA hat umfangreiche Kompetenzen in der Entwicklung entsprechender Fertigungsanlagen und –prozessen im Labor- und Industriemaßstab aufgebaut und die Nutzbarkeit in unterschiedlichen Anwendungen gezeigt.

Im Rahmen von Laborversuchen werden verschiedene Jetting-Verfahren, wie z.B. Piezo-Inkjetdruck oder Dispensen, zum gezielten Aufbringen leitfähiger Strukturen eingesetzt. Je nach Anwendungsszenario können leitfähige Strukturen in hoher Auflösung mit Silber-Nanotinten im Piezo-Inkjetdruckverfahren gedruckt werden. Um leitfähige Elemente mit noch höherer Leitfähigkeit zu erhalten, können hochviskose

leitfähige Pasten über Jetting-Dosiersysteme präzise aufgebracht werden. Solche leitfähigen Elemente können als elektrische Steckverbinder oder Funktionselemente für Antennen oder Wärmestrahler eingesetzt werden.

Ein aktuelles Forschungsthema sind 3D-gedruckte individualisierte Leiterplatten (PCB). Dazu wurde ein hybrider Maschinenaufbau entwickelt, der aus vier Prozessmodulen besteht: (1) Inkjetdruck, (2) Aushärten und Sintern, (3) Mikromontage, (4) Bildverarbeitungssysteme, die über ein gemeinsames xyz-Achsen-system verbunden sind. So kann ein hybrider Fertigungsprozess automatisiert durchgeführt und komplex geformte, individualisierte Schaltungsträger hergestellt werden.

Parallel dazu untersuchte das Fraunhofer IPA, wie industrielle Elektrokomponenten in gedruckte PBT-Gehäuse integriert werden können, um individualisierte

Näherungssensoren herzustellen. In einem hybriden Fertigungsverfahren wurden im Arburg Kunststoff Freiformen (AKF)-Verfahren Gehäuseelemente hergestellt, elektrische Komponenten integriert und Leiterbahnen mittels kontaktlosem Dispensen realisiert. Es konnte gezeigt werden, dass auf Basis dieser Prozessroute individualisierte Sensoren in Industriequalität hergestellt werden können.

### Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Dipl.-Ing. Oliver Refle

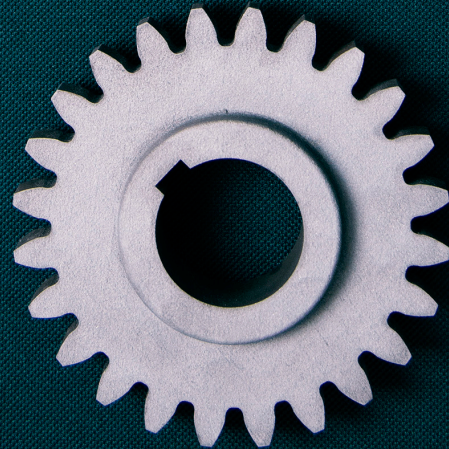
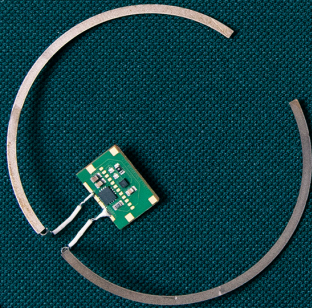
☎: +49 (0) 711 970-1867

✉: [oliver.refle@ipa.fraunhofer.de](mailto:oliver.refle@ipa.fraunhofer.de)

🌐: [www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)



Sensordaten, draht- und batterieelos erfasst an ihrem Entstehungsort.



## Smartes Zahnrad

### mit integriertem RFID-Beschleunigungssensor

#### Beschreibung und Konzept

Das smarte Zahnrad ist in der Lage Sensordaten im Inneren batterieelos (passiv, ohne zusätzliche Energieversorgung) zu generieren und kabellos über die RFID-Frequenz UHF (868 MHz) an einen externen Empfänger zu senden. Erfasst werden können die Daten mittels eines Lesegerätes im Abstand von ca. 10mm. Relevant sind Messwerte für Aussagen über Zahnrad-/Getriebefehler und die Beobachtung des Zahnradverhaltens. Durch die Integration von RFID-Sensorik können Herausforderungen bei der Integration von Elektronik im Bauteil, wie die Datenübertragung aus einem rotierenden Bauteil, gelöst werden. Durch die Additive Fertigung werden die Integration und die Nutzung von passiver Sensorik im Inneren des Zahnrades möglich. Um trotz der Undurchlässigkeit von Einsatzstahl für Frequenzbänder in dem erforderlichen Energie-Materialbereich Signale zu übertragen, wurde eine Antenne aus selbigem Material (20MnCr5) designt und in ihren geometrieabhängigen Send- und Empfangseigenschaften optimiert ausgelegt. Sie wird zusammen mit dem Zahnrad additiv aufgebaut, befindet sich auf der Vorderseite des Zahnrades

elektrisch isoliert und ist mit der Sensorik leitend verbunden. Mit dem Entwurf einer gekrümmten Antennenform können die Daten der exzentrisch rotierenden Sensorik mit einem statisch positionierten Lesegerät erfasst werden. Damit die Fertigung innerhalb eines Bauprozesses erfolgen kann, werden Stützstrukturen aus Vollmaterial aufgebaut. Anschließend werden die Kavitäten mit Isolationsmaterial abgegossen, sodass die Antenne und die Sensorik fixiert gelagert sind und die Stützstrukturen abgefräst werden können. Mit der Erfindung kann die Herausforderung der Signalabschirmung von Metall überwunden werden. Die Additive Fertigung ermöglicht den Zugang zum Bauteilinneren während des Herstellungsprozesses und die simultane Fertigung mehrerer Komponenten innerhalb eines Bauprozesses.

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

Maximilian Binder und Veronika Stapff

☎: +49 (0) 821 90678-192

✉: maximilian.binder@igcv.fraunhofer.de

🌐: www.igcv.fraunhofer.de



## CastAutoGen - eine hybride Prozesskette aus Additiver Fertigung und Druckguss für die Automobilproduktion

Die additive Fertigung (AM) wird im industriellen Umfeld zunehmend genutzt. Die langen Produktionszeiten verhindern jedoch derzeit den Einsatz in der Großserienproduktion. Die Kombination etablierter Massenproduktionsverfahren mit AM kann eine Lösung sein, um diese Problematik zu überwinden.

Um diese Herausforderungen zu meistern, wurde durch das CastAutoGen-Konsortium (Fraunhofer IWU und IWS, EDAG, Oerlikon AM Europe, Bohai Trimet, Audi und ZF) eine neuartige hybride Prozesskette entwickelt, die die Vorteile der additiven Fertigung mit denen des Metallgusses kombiniert, und an einem Demonstrator aus dem Automobilbereich umgesetzt.

In diesem Projekt wurde Laser Powder Bed Fusion (LPBF) als geeignete AM-Technologie mit dem Leichtmetall-Druckgießen kombiniert, einer der gängigsten Massenproduktionstechnologien in der Automobilindustrie, die sowohl für den Antriebsstrang als auch für Fahrwerks- und Karosserieteile eingesetzt wird. Additiv gefertigte Funktionsstrukturen wurden erfolgreich als eingegossene Merkmale in Druckgussteile integriert, die verschiedene Designvarianten und zusätzliche Funktionen in einem typischen Automobil-Druckgussteil – einem »Halter Nebenaggregate« – darstellen.

Der Aluminiumdruckguss-Halter wurde mit einer lokalen Edelstahlverstärkung, mit einer flexiblen Adaptergeometrie aus Aluminium für verschiedene Designvarianten und mit

*Optische Vermessung der 3D-Edelstahlverstärkung für das Druckgussteil (links), CastAutoGen-Demonstratoren vor EDAG-Concept-Car (Mitte), Einlegen des Aluminium-Adapters für die Lenkhilfpumpenanbindung in die Druckgießform (rechts)*

einem eingegossenen Wärmetauscher aus einer Kupferlegierung für die Ölkühlung versehen. Die 3D-gedruckten Funktionselemente wurden direkt im Druckgießverfahren integriert, indem sie vor dem Guss in die Form eingelegt und im Gießprozess metallurgisch mit dem Gussteil verbunden wurden, so dass ein integriertes, monolithisches Bauteil „aus einem Guss“ entstand. Besonderes Augenmerk wurde auf die Verbindung der AM-Einlege-teile mit dem Druckgussteil durch speziell entwickelte Interface-Strukturen gelegt. Um die mechanischen Eigenschaften der Verbindungen zwischen den verschiedenen Geometrien und Werkstoffen zu bestimmen, wurden im Rahmen des Projekts spezielle Prüfkörper entwickelt, nach mehreren Kriterien bewertet und physikalisch getestet. Dabei wurden etablierte Prüfverfahren nach Normen wie DIN EN 50125 und DIN 50099 angewendet.

Durch die Verwendung unterschiedlicher Adapterelemente für die Lenkhilfpumpenbefestigung kann zukünftig eine große

Variantenvielfalt des »Halters Nebenaggregate« realisiert werden – aus nur einem Druckgießwerkzeug. Hierfür wurde eine spezielle Adaptergeometrie mit standardisiertem Übergangsbereich entwickelt. Abschließend wurde ein Korrosionstest nach PV 1210 mit 15 Zyklen durchgeführt und erfolgreich bestanden, wobei keine übermäßige Korrosion zwischen den Werkstoffen (Aluminium, Edelstahl, Kupferlegierung) festgestellt werden konnte, so dass die volle Funktionsfähigkeit des Druckgussbauteils mit seinen 3D-gedruckten Merkmalen über die gesamte Produktlebensdauer des Automobils zu erwarten ist.

**Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik  
IWU**

Dr. Bernhard Müller

☎: +49 (0) 351 4772-2136

✉: [bernhard.mueller@iwu.fraunhofer.de](mailto:bernhard.mueller@iwu.fraunhofer.de)

🌐: [www.iwu.fraunhofer.de](http://www.iwu.fraunhofer.de)





## GraMMaCAD

CAD-Modelle können um funktional gradierte Materialübergänge (z.B. von fest nach flexibel) erweitert werden: Der Standfuß aus dem Multimaterial-3D-Drucker dämpft daran befestigte Bauteile und federt diese ab.

## GraMMaCAD – Digitale Pipeline für gradierte Produkte

Beim Knochen abgeschaut: Mithilfe von funktional gradierten Materialien ist es möglich, Bauteile anforderungsgerecht zu optimieren. Bisher war die Entwicklung und Konstruktion solcher Bauteile sehr aufwendig - mit der Software GraMMaCAD, entwickelt am Fraunhofer IGD, wird das deutlich leichter.

GraMMaCAD ist ein graphisch-interaktives Werkzeug, das erstmalig eine elegante und benutzerfreundliche Definition von volumetrischen Materialverteilungen auf CAD-Modellen ermöglicht. Diese CAD-Modelle können aus klassischen CAD-Werkzeugen übernommen werden, die o.g. Limitationen haben. Damit erweitert GraMMaCAD die Möglichkeiten heutiger CAD-Systeme. Der Nutzer von GraMMaCAD hat die Option, Materialverläufe anhand von CAD-Flächen, neudefinierten Hilfsgeometrien oder CAD-Teilkörpern zu definieren. Auf diese Weise können CAD-Modelle um gradierte Materialinformationen im Inneren ergänzt werden. Diese Gradierung wird schichtweise ausgeleitet, an einen 3D-Druckprozess übergeben und gedruckt.

In 3D-CAD-Systemen werden zur Repräsentation von Geometrie üblicherweise sogenannte Boundary Representations

(B-Reps) genutzt, welche eine Oberflächenbeschreibung des Objektes darstellen. Diese werden für den 3D-Druckprozess diskretisiert und meist in Form von STL an 3D-Drucker übergeben. Durch die reine Beschreibung der Daten als Oberflächenmodell geht die Möglichkeit zur Einflussnahme auf das Innere des Werkstücks verloren. Diese Einflussnahme ist aber im Hinblick auf intern variierende Materialverteilungen von zentraler Bedeutung.

Das Ziel unserer Software GraMMaCAD ist es daher, die Modellierung volumetrischer Materialverteilungen zu ermöglichen und ein generisches Datenformat zu deren Beschreibung zu entwerfen.

### Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD

Prof. Dr.-Ing. André Stork

☎: +49 (0) 6151 155-469

✉: [andre.stork@igd.fraunhofer.de](mailto:andre.stork@igd.fraunhofer.de)

🌐: [www.igd.fraunhofer.de](http://www.igd.fraunhofer.de)

## »POWDERscreen« erfasst Pulverpartikel

**Gesteigerte Prozessreproduzierbarkeit durch permanente Überwachung des Pulvermassestromes**

### Kontrolliertes Legieren innerhalb des Prozesses möglich

Neben der Schutzgasabschirmung des Prozesses mit »COAXshield« und der Qualifizierung des Pulverkegels durch das »Llsec«, ist es für einen stabilen und damit reproduzierbaren Prozess auch nötig alle Eingangsgrößen genau zu kennen und gegebenenfalls zu regeln. Besonders die kontinuierliche Messung der geförderten Pulvermenge stellte dabei bisher eine große Herausforderung dar. Der derzeit am Fraunhofer IWS im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes entwickelte Sensor »POWDERscreen« detektiert genau, wann und wie viel der unterschiedlichen Partikel dem Schmelzbad zugeführt werden. Daraus lässt sich die geförderte Pulvermasse exakt berechnen. So ist es möglich Schwankungen des Partikelmassestroms zu erkennen und einem nachgelagerten Regler zu melden. Dies steigert nicht nur die Zuverlässigkeit des Prozesses deutlich, sondern ermöglicht es auch, gezielt mehrere unterschiedliche Pulver

während des Schweißvorganges zu mischen. Eine zeitdiskrete Messung des Pulvermassestromes erhöht zudem den Digitalisierungsgrad des Prozesses deutlich und bietet Daten zur Erstellung eines digitalen Zwillinges des erstellten Bauteils.

### Montage am Prozesskopf

Durch den Einsatz des neuentwickelten Sensors »POWDERscreen« kann die Prozesszuverlässigkeit deutlich erhöht werden.

### Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Dr. Elena Lopez

☎: +49 (0) 351 83391-3296

✉: elena.lopez@iws.fraunhofer.de

🌐: www.iws.fraunhofer.de

## »Llsec« durchleuchtet den Pulverstrom

Ein Messsystem zur automatisierten Charakterisierung der Pulverdüse beim Laser-Pulver-Auftragschweißen

### Gesteigerte Prozessreproduzierbarkeit durch Werkzeugvermessung

Während bei konventionell genutzten abtragenden Verfahren wie dem Fräsen das Einmessen der Werkzeuge dem Stand der Technik entspricht, stellt dies beim Laser-Pulver-Auftragschweißen noch eine große Herausforderung dar. Zur Lösung dieses Problems und um die Grenzen des technisch Machbaren zu verschieben, wurde am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS das Messgerät »Llsec« entwickelt. Das Kürzel steht für »Light Section« (deutsch: Lichtschnitt) und verrät bereits das Prinzip: Ein Messlaser durchleuchtet den Pulverstrom nach Austritt aus der Düse. Im rechten Winkel dazu ist eine Kamera montiert, die Lichtschnitte durch das Pulver aufnimmt und an eine Analyse-Software weiterleitet. Daraus lässt sich hochpräzise die dreidimensionale Verteilung des Pulverstroms berechnen. Dies erlaubt eine deutlich vereinfachte Qualitätskontrolle und ermöglicht Rückschlüsse auf den Grad des Verschleißes der Pulverdüse.

Nutzen lässt sich dies beispielsweise, um beschädigte oder verschlissene Turbinenschaufeln von Flugzeugen in höherer Qualität und zuverlässiger als bisher zu reparieren. Insofern kann das Messgerät zu mehr Sicherheit und geringeren Wartungskosten in der Luftfahrt beitragen. Das Dresdner Institut erarbeitet bereits den Transfer der Technologie mit mehreren namhaften internationalen Unternehmen und Forschungsinstituten.

### Anlagenintegrierte Messung

Das Pulverdüsenmesssystem Llsec vermisst Pulverströmungen nach ihrem Austreten aus der Düse.

### Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Dr. Elena Lopez

☎: +49 (0) 351 83391-3296

✉: elena.lopez@iws.fraunhofer.de

🌐: www.iws.fraunhofer.de

## Mobile Fabrikkonzepte und Assistenzsysteme zur dezentralen additiven Fertigung

Wertschöpfungsketten von Waren und Dienstleistungen werden durch die globale Vernetzung zunehmend komplexer. Einzelne Ausfälle können zur Störung gesamter Lieferketten führen, wie die SARS CoV-2 Pandemie, aber auch die Havarie der Ever Given im Suezkanal, deutlich gezeigt haben.

Am IAPT werden mobile Produktionseinheiten entwickelt, die eine dezentrale Produktion von Ersatzteilen oder medizinischer Ausrüstung mittels Additive Manufacturing (AM) ermöglichen. Dabei kommen Kunststoffverfahren wie Fused Filament Fabrication (FFF) oder Stereolithographie (SLA) zur kurzfristigen Produktion von medizinischer Ausstattung zum Einsatz (siehe Abbildung). Zur mobilen Reparatur und Fertigung von Ersatzteilen aus Metall wurde am IAPT außerdem die Additive Mobile Factory® entwickelt, in welcher ein Directed Energy Deposition (DED) Prozess Anwendung findet.

Ein Fokus dezentraler Fabrikssysteme sollte insbesondere auf der Mensch-Maschine-Interaktion liegen, da gerade in Krisensituationen kein geschultes Personal oder

3D Druck Experten vor Ort sind. Digitale Assistenzsysteme sind hierfür besonders geeignet und bieten ein hohes Potential zur Fehlerreduktion. In dem Forschungsprojekt MobiMed (gefördert im Rahmen der internen Programme der Fraunhofer-Gesellschaft) unterstützt ein Augmented-Reality-basiertes Assistenzsystem den Bediener bei der Durchführung von Wartungsprozessen und dem Starten der Produktion. Der Druck kann direkt aus der Anwendung heraus gestartet werden, ohne dass ein CAD-Programm verwendet werden muss oder eine direkte Interaktion mit dem Drucker erforderlich ist.

### Die mobile Fertigungslinie MobiMed

Die MobiMed wurde am IAPT zur mobilen Fertigung medizinischer Schutzausrüstung entwickelt.

### Fraunhofer Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT

Kevin Janzen, M.Sc.

☎: +49 (0) 40 4840 10 778

✉: kevin.janzen@iapt.fraunhofer.de

🌐: [www.iapt.fraunhofer.de](http://www.iapt.fraunhofer.de)

## Individuelle Serienproduktion durch Metall Binder Jetting

### Remobilisierung von Fingergelenken durch KI-basierte Rekonstruktion

Im PREPARE-Projekt **FingerKIt** wird erstmals eine autonome Prozesskette in der Herstellung patientenindividueller Implantate vom Design über die Fertigung bis hin zur zertifizierungskonformen Prüfung entwickelt. Mit dem Fraunhofer IAPT, IKTS, ITEM, IWM und dem MEVIS arbeiten fünf Institute an diesem gemeinsamen Vorhaben. Ziel des Fraunhofer IAPT ist es, über das individuelle Design eine verbesserte Anpassung der Implantate an die ursprünglichen Gelenkeigenschaften zu ermöglichen. Das Potential des Metall Binder Jetting zur Fertigung hoch präziser Komponenten kommt in der Fertigung der filigranen Fingerimplantate zum Tragen. Die dargestellten Prototypen zeigen das Initialdesign des Schafts, in welche der Knochen einwachsen wird. Neben der Prozessentwicklung und der Fertigung mit Titanwerkstoffen befasst sich das IAPT mit der Automatisierung der Designerstellung. Auf Basis von Röntgendaten und vorab definierten Anforderungen wird ein Algorithmus trainiert, um vollautomatisiert das patientenindividuelle Implantatdesign zu erzeugen.

### Fertigungsgerechtes Design

Ergänzend zur Entwicklung neuer Anwendungen für die Metall Binder Jetting Technologie werden am Fraunhofer IAPT die Potenziale und Restriktionen dieses Verfahrens analysiert. Ziel des Projektes **PuMa** ist unter anderem die Entwicklung eines umfassenden Leitfadens für die fertigungsgerechte Konstruktion von Bauteilen. Durch Anwendung solcher Richtlinien lassen sich kosten- und zeitintensive Iterationsschleifen bis zu einem prozesssicheren Bauteildesign sowie eine nur ungenügende Ausnutzung der gestalterischen Verfahrensmöglichkeiten vermeiden.

Durch Binder Jetting hergestellte Prototypen von Fingergelenksimplantaten mit optimierter Oberflächentopologie.

### Fraunhofer Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT

Dr. Philipp Imgrund

☎: +49 (0) 40 484010 740

✉: philipp.imgrund@iapt.fraunhofer.de

🌐: www.iapt.fraunhofer.de

# Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 75 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 29 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Milliarden Euro. Davon fallen 2,4 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für

die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Als Forschende, Unternehmer und Visionäre verstehen sich unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter als Taktgeber und Innovationsmotor der Wirtschaft. Sie meistern wie unser Namenspatron den Spagat zwischen Forschung und unternehmerischem Denken, sie übernehmen Verantwortung für die Zukunft, erarbeiten Lösungen für die Herausforderungen von morgen. Auf der Formnext 2021 zeigen sie, was die Zukunft der industriellen 3D-Bearbeitung prägen wird.

Fraunhofer. WeKnowHow.

