

News 1.2022

Fraunhofer Kompetenzfeld Additive Fertigung

Editorial



Liebe Leserinnen und Leser,

es freut mich, Ihnen die NEWS 1.22 des Fraunhofer Kompetenzfeldes Additive Fertigung anlässlich der Rapid.Tech 3D in Erfurt zu präsentieren. Auf der Messe erwartet Sie unser innovatives Standkonzept, welches wir erstmalig auf einer Präsenzmesse vorstellen.

Der aktuelle Newsletter informiert Sie über die vielfältigen Forschungsaktivitäten unserer Mitglieder. Das Fraunhofer IFF forscht zum Beispiel am 3D-Druck für große Bauteile aus Holzfaser-Verbundwerkstoffen und das Fraunhofer IGB entwickelte in einem Ringversuch mit externen Partnern erstmalig ein standardisiertes Herstellungsverfahren für Gelatine-basierte Biotinte. Am Fraunhofer IPA steht seit kurzem ein neuartiger Filament 3D-Drucker mit einer temperierbaren Baukammer zur Verfügung, welcher Filamentextrusion bei bis zu 500 °C zulässt. Das Fraunhofer IWS berichtet über Aktivitäten zum auftragsbasierten 3D-Druck (DED) besonders großer Bauteile.

Schließlich möchte ich Sie an dieser Stelle noch auf unsere internationale Konferenz zur additiven Fertigung – die Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference DDMC hinweisen, die am 15./16. März 2023 in Berlin stattfindet. Der [Call for Papers](#) läuft noch bis Ende Mai und Sie sind herzlich einladen, sich als Referent, Teilnehmer oder Sponsor an der Konferenz zu beteiligen. Nähere Informationen zur Fraunhofer DDMC 2023 finden Sie auf Seite 6.

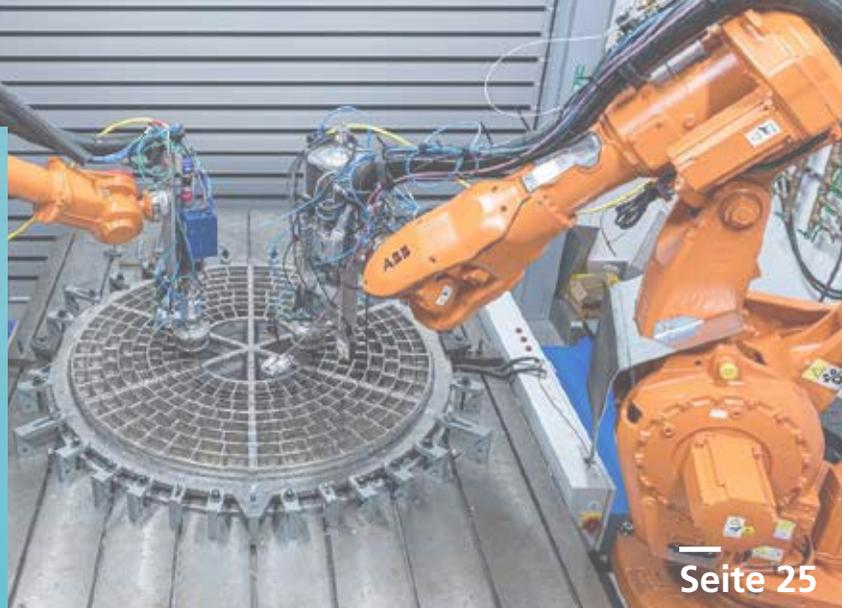
Ich wünsche Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

Dr. Bernhard Müller

Sprecher des Fraunhofer Kompetenzfeldes Additive Fertigung

Inhalt

Editorial	2
Rapid.Tech 2022	5
DDMC 2023	6
Neuartiger 3D-Drucker für große Bauteile aus Holzfaser-Verbundwerkstoffen	7
Neue Designpotenziale durch Digitalisierung der Werkstoff- und Prozessdaten	9
SOP Bioprinting	11
Analyse von Ansätzen zur Skalierung der Produktivität bei LPBF	15
INiTiTe - 3D-Druck komplexer und kompakter NiTi-Bauteile mit thermoplastischem Filament	17
AM mittels Liquid Metal Printing (LMP)	19
Life Cycle Assessment (LCA) für die LPBF Prozess- und Systemtechnik	21
Anlagentechnik für polymere Serienbauteile	23
DED Additive Manufacturing von Großbauteilen ..	25
Impressum	29



rapid.tech

3D CONFERENCE EXHIBITION NETWORKING

Am 18. Mai stellt das Fraunhofer Kompetenzfeld in seinem eigenen Fachforum eines der bekanntesten additiven Fertigungsverfahren, das Selektive Laserstrahlschmelzen, auch Laser Powder Bed Fusion (LPBF) genannt, in den Mittelpunkt. Fünf der insgesamt sieben Vorträge des Fachforums beleuchten dieses Thema aus unterschiedlichen Perspektiven. Weitere Fraunhofer-Vorträge zum Produktschutz in der additiven Fertigung (IAPT) und ein Use Case aus der Recyclingindustrie (IFAM) runden das Fraunhofer-Forum ab. Link zum kompletten Kongressprogramm [hier](#).

Besuchen Sie uns auf unserem Messestand 2-417 und lassen Sie sich vom innovativen Standkonzept überraschen!

Rapid.Tech 2022

Erfurt, Germany
17.-19. Mai 2022

Fraunhofer Expert Forum: 18. Mai 2022
Fraunhofer Messestand: 2-417



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
 - **Dr. Barbara Imhof**, Co-Founder LIQUIFER Systems Group, Vienna
 - **PhD Mihaela Vlasea**, Associate Research Director at University of Waterloo
 - **Dr. Özlem Weiss**, Founder Expertants GmbH, Frankfurt a.M.
 - **Aditya Chandavarkar**, CNT Expositions and Services LLP, Mumbai
- 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

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

Regular live web meetings

Revisiting keynotes of DDMC 2020, including live statements from speakers

- Panel rounds with representatives from industry and Fraunhofer
- Scientific Committee panel rounds and presentations



<https://www.ddmc-fraunhofer.de>



links: Planung des 3D-Druckers (Quelle: Gorodenkoff & Fraunhofer IFF); rechts: Bauteil-aufbau an der Demonstratoranlage (Quelle: Imagefilm Großformatiger 3D-Druck)



Das Anlagenkonzept lässt die Fertigung von Bauteilen mit praktisch unbeschränkten Abmessungen zu.«

Neuartiger 3D-Drucker für große Bauteile aus Holzfaser-Verbundwerkstoffen

Hohes Potenzial moderner 3D-Druck-Verfahren

Der innovative Lösungsansatz beruht auf der Entwicklung eines 3D-Druck-Verfahrens für die Herstellung großformatiger Gebäude- und Fassadenelemente aus Verbundwerkstoffen auf der Basis natürlicher Holzfasern. Neben der deutlichen Erweiterung des Bauraums bei gleichzeitig hohen Schichtaufbauzeiten ist die beim Industriepartner NOVO-TECH erstmals zur Anwendung kommende additive Verarbeitung biogener Holzfaserverbundwerkstoffe (Wood-fiber Polymer Composites) ein wesentlicher Aspekt des Technologieansatzes.

Die zu druckenden Bauteile wie z.B. ein Fassadenelement mit Abmessungen von 6.000 mm x 6.000 mm x 200 mm (bei einem Porenvolumen von 50% zur Wärmedämmung) besitzt ein Gewicht von ca. 3.000 kg. Um derartig große Bauteile in kurzer Zeit drucken zu können, werden Beschleunigungen des Druckkopfes von 2 bis 3 g benötigt. Zur Erzielung der geforderten Bauteilqualität, wurde das System den statischen und dynamischen Belastungen entsprechend dimensioniert. Die hochproduktive Fertigungsanlage weist dabei folgende spezifische Eigenschaften auf:

- Großer Bauraum mit Bauteil-Kantenlängen bis 6.000 mm

- Schneller Aufbau in großen und variablen Schichtstärken (> 4-10 mm) bei hohem Materialdurchsatz (> 10 dm³/h)
- Natürliche Materialien auf Basis von thermoplastischen Holzfaser-Verbundwerkstoffen (Biopolymere)
- Flexibler hybrider Fertigungsprozess: Extruder basierter Bauteilaufbau und Nachbearbeitung durch Fräsen in gleicher Aufspannung (Portal mit Wechsellereinheit für Auftrags- und Fräswerkzeug)

Mit der vorliegenden 3D-Drucktechnologie können mit dem vom Industriepartner entwickelten biobasierten Materialkonzept völlig neue Erzeugnisse hergestellt werden, die sich bisher aufgrund ihrer Komplexität der wirtschaftlichen Fertigung verschließen. Dazu gehören u. a. tragende Bauteile mit hohem Wärmedämmwert für die Errichtung oder Verkleidung von Gebäuden, Terrassenelemente, Fertigteile für den Hausbau oder Möbel.

Das Portalkonzept lässt die Fertigung von Bauteilen mit praktisch unbeschränkten Abmessungen zu, wobei mit der Demonstratorlösung aktuell Bauteilgrößen bis 3.000 mm hergestellt werden können. Das vom Fraunhofer IFF entwickelte und exakt an die zu fertigenden Produkte angepasste Steuerungskonzept ermöglicht einen schnellen Bauteilaufbau und führt dadurch zu einer deutlichen Reduzierung der Fertigungszeiten um 15 bis 20%.



Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Dr.-Ing. Uwe Klaeger

☎: +49 (0) 391 4090-809

✉: uwe.klaeger@iff.fraunhofer.de

🌐: www.iff.fraunhofer.de

Neue Designpotenziale durch Digitalisierung der Werkstoff- und Prozessdaten

Unternehmensübergreifende Datenvernetzung und Einsatz in neuen Algorithmen für die Topologieoptimierung

Vom Rohmaterial bis zum fertigen Bauteil durchlaufen die Zwischenprodukte mehrere Wertschöpfungsstufen und dabei meist mehrere Unternehmen. Für eine maximale Ausschöpfung des Designpotenzials müssen Wissensverluste zwischen den einzelnen Wertschöpfungsstufen verhindert werden, um durchgängig eine möglichst genaue Kenntnis des Werkstoffs, des Bauteils und des Fertigungsprozesses zu erhalten. So können Design und Produktion in wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht weiter optimiert werden.

Ziel des vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg geförderten Forschungsprojektes „AluTrace“ (geförderte Akteure: Fraunhofer EMI und IWM, fem) war es, die über Produktentwicklungs- und Produktherstellungszyklen entstehenden Daten- und Wissensinseln digital zu verknüpfen. Zu diesem Zweck wurde in Rücksprache mit entsprechenden Experten aus Forschung und Industrie ein realistischer Anwendungsfall mit dem

Laserstrahlschmelzen entworfen, anhand dessen die entwickelten Technologien anschaulich demonstriert werden konnten.

Wenn unterschiedliche Daten von verschiedenen Akteuren geteilt werden sollen, ist die Einhaltung der FAIR-Prinzipien für den Umgang mit Daten (Findable – Accessible – Interoperable – Reusable) von größter Bedeutung. Um diesem Bedarf gerecht zu werden, wurde eine dezentrale Datenraumarchitektur auf der Grundlage des International Data Spaces (IDS) Referenzarchitekturmodells entworfen und implementiert. Auf diese Weise schaffen die Autoren die allererste Instanz des Materials Data Space® (MDS) und ermöglichen damit unternehmensübergreifende Datenvernetzung im Sinne eines Data Fabric unter Wahrung höchster Datensouveränitätsstandards.

Es wurde außerdem ein neuer Algorithmus für eine prozessspezifische Topologieoptimierung (PSTO) implementiert, der die dezentral vorliegenden Daten mittels einer



Unternehmensübergreifend vernetzte Daten für die Topologieoptimierung: spezifische Daten von Werkstoff, Bauteil und Prozess erhöhen die Effizienz und Sicherheit im Leichtbau

eigens dafür entwickelten Schnittstelle unternehmensübergreifend vernetzt und für das Design nutzbar macht. Es können beispielsweise real gemessene Werkstoffkennwerte, die sich auf spezifische Fertigungsanlagen und Prozessparameter von Akteuren im MDS beziehen, automatisiert aus dem Datenraum abgerufen und für das Design genutzt werden. Die Unsicherheit bezüglich der Materialeigenschaften wird stark reduziert und dadurch zusätzliches Leichtbaupotenzial ermöglicht.

Die von unterschiedlichen Institutionen angebotenen Werkstoff- und Prozessdaten werden aus dem Datenraum abgefragt, vernetzt und in Abhängigkeit der Kennwerte eine adaptierte Modellbildung

vorgenommen. Durch einen multimodalen Algorithmus wird es mit der prozessspezifischen Topologieoptimierung möglich, nicht nur die mechanische Funktion, sondern auch Prozess-Ziele (bspw. Supportstrukturen, Druckzeit) in Abhängigkeit von Topologie und einstellbaren Prozessgrößen (bspw. Druckrichtung) zu optimieren.

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

Dr.-Ing. Klaus Hoschke

☎: +49 (0) (761) 2714 – 446

✉: klaus.hoschke@emi.fraunhofer.de

🌐: www.emi.fraunhofer.de



Um das Konzept personalisierter Implantate für die Therapie Wirklichkeit werden zu lassen, optimieren Forschende am Fraunhofer IGB biologische Materialien für 3D-Druck-Verfahren.«

SOP Bioprinting

Um Versorgungslücken bei Implantaten in Zukunft schließen zu können, liegt die Hoffnung der regenerativen Medizin auf dem 3D-Bioprinting. Noch aber fehlen standardisierte Materialien und Verfahren. Im Projekt »SOP_BioPrint – Protokolle für ein standardisiertes Bioprinting« nahm das Fraunhofer IGB an einem Ringversuch mit renommierten externen Partnern teil. Im Projekt wurde für eine am IGB entwickelte Gelatine-basierte Biotinte erstmals ein standardisiertes Herstellungsverfahren etabliert und getestet.

Die große Hoffnung für das Schließen der Versorgungslücke bei Implantaten liegt im 3D-Bioprinting. Dabei handelt es sich um eine additive Fertigung, die lebende Zellen in einem biokompatiblen Trägermaterial Schicht für Schicht zu stabilen,

wohldefinierten 3D-Konstrukten druckt. Diese 3D-gedruckten Strukturen sind aktueller Gegenstand der Forschung und Entwicklung in den vielfältigen Gebieten der regenerativen Medizin bzw. des Tissue Engineerings und gewinnen auch im Bereich der industriellen Anwendung zunehmend an Bedeutung.

Reproduzierbarkeit durch Standardisierung

Für den Übergang in eine industrielle Anwendung sind Kriterien wie Formtreue und Reproduzierbarkeit der mittels additiver Fertigung generierten Produkte von entscheidender Bedeutung. Die hohe Diversität der am Markt verfügbaren Druckersysteme sowie die bisher geringe Standardisierung verfügbarer Biomaterialien zur Herstellung von Biotinten führen in

Summe zu einem »Daten-Dschungel«, aus dem sich allgemeingültige material- und prozessrelevante Kriterien für eine ziel- und erfolgsorientierte Durchführung des 3D-Bioprinting nur schwer ableiten lassen.

Ringversuch für Standard Operation Procedure (SOP)

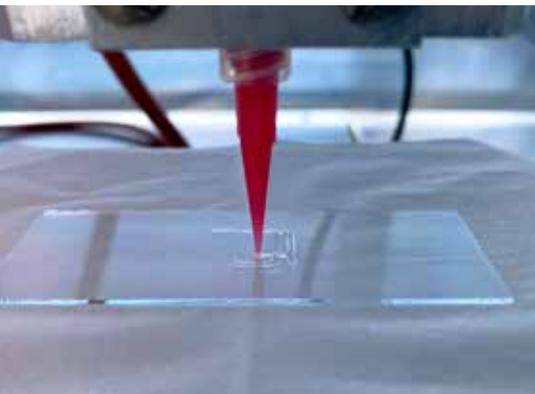
Zur Lösung dieser Herausforderungen lud das KIT im Projekt SOP_BioPrint 13 renommierte Partner, ausgewählt anhand ihrer durch Publikationen auf diesem Gebiet ausgewiesenen Expertise, zu einem Ringversuch ein. Solche Versuche werden normalerweise zur Qualitätssicherung oder zur Validierung von Mess- und Prüfverfahren eingesetzt. In Standard Operation Procedures (SOP) werden Herstellungs- oder Prüfverfahren exakt beschrieben, um unabhängig vom Hersteller oder Prüflabor

immer reproduzierbare und damit vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.



Modifiziertes Biopolymer

Im Projekt SOP_BioPrint wurde somit untersucht, inwieweit man mit standardisierten Biotinten, welche an unterschiedlichen Standorten und Geräten, jedoch mit gleichen Parametern verdrückt werden, reproduzierbare und vergleichbare Strukturen drucken kann. Um die Varianzen zu umgehen, die durch die Präparation von Tinten an den Standorten mit unterschiedlichen 3D-Bioprintern hinzukommen, wurden neben einer kommerziellen Biotinte zwei weiteren Biotinten durch beteiligte Partner bereitgestellt.



3D-Druck einer vernetzbaren, am Fraunhofer IGB entwickelten Biotinte

Das Fraunhofer IGB nahm nicht nur an diesem Ringversuch teil, sondern lieferte auch eine Gelatine-basierte vernetzbare Biotinte für alle an dem Ringversuch teilnehmenden Partner. Damit war die IGB-Biotinte eine von drei im Ringversuch untersuchten Biotinten. Neben dem Material (modifizierte Gelatinen, Radikalstarter,

Puffer) haben wir den Ringversuchspartnern auch eine SOP zur Modifizierung und Formulierung der Biotinte zur Verfügung gestellt. Mit dieser SOP konnten alle Beteiligten eine bezüglich ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften gleiche Biotinte produzieren und verdrücken.

Methacrylierte Gelatine nach standardisiertem Modifizierungsverfahren

Mit der Teilnahme am Ringversuch konnte für eine am IGB entwickelte Gelatine-basierte Biotinte nun erstmals ein standardisiertes Herstellungsverfahren etabliert werden. Dabei sticht die nun standardisierte Modifizierung von Gelatine mit Methacrylsäureanhydrid als eine einfache und kosteneffiziente Strategie zur Integration photopolymerisierbarer Gruppen in das Biopolymer hervor.

Die resultierenden methacrylierten Gelatine-Derivate sind in der Lage, durch photoinitierte radikalische Polymerisation kovalent zu vernetzen. Damit stellen sie eine vielseitige Matrix dar, die für die Entwicklung von Gewebeanaloga verwendet werden kann, die von Gefäßen über Knorpel, Bänder, Sehnen und Knochen bis hin zum Fettgewebe und Herzgewebe reichen [1].

Neben den biologischen Vorteilen ist die Möglichkeit der mechanischen Steifigkeit über die Verwendung von chemisch vernetzbaren Gelatine-basierten Hydrogelen



im Bioprinting von wesentlicher Bedeutung. Darüber hinaus ermöglicht die Methacrylierung, das rheologische Verhalten der Gelatine zu kontrollieren und sie bei Raumtemperatur fließfähig werden zu lassen. Dies erlaubt ein hohes Maß an Kontrolle über das Hydrogel-Design im 3D-Bioprinting.

Reinigung der Produkte über Querstromfiltration

Literatur

[1] Gonçalves, A.M., Moreira, A., Weber, A., Williams, G.R., Costa, P.F. (2021) *Osteochondral Tissue Engineering: The Potential of Electrospinning and Additive Manufacturing, Pharmaceutics*, 13, 983. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13070983>

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

Dr. Achim Weber

☎: +49 (0) 711 970-4022

✉: achim.weber@igb.fraunhofer.de

🌐: www.igb.fraunhofer.de



Untersuchung und Bewertung von Ansätzen zur Skalierung der Produktivität beim Laser Powder Bed Fusion

Die additive Fertigung mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF) ermöglicht die Fertigung hochkomplexer Funktionsbauteile ohne zusätzliche Werkzeuge. Jedoch hemmt die vergleichsweise geringe Produktivität einen breiteren industriellen Einsatz des LPBF. 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 $P_{L,max} = 1000 \text{ W}$ führt dies zu großen Maximalintensitäten und somit zu einem größeren Risiko von Bauteildefekten und Prozessinstabilitäten durch Tiefschweißeffekte, verstärkte Ausbildung von Prozessnebenprodukten und

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

das LPBF. Dabei steht insbesondere der Einfluss des Laserstrahldurchmesser und der Laserintensitätsverteilung auf die Produktivität und Bauteilqualität im Fokus aktueller Untersuchungen.

Erste Forschungsarbeiten im Rahmen des DPP adressieren den Vergleich des LPBF der Nickelbasislegierung IN625 mit defokussierter gaußförmiger und Ring-Mode Laserintensitätsverteilung mit Laserstrahldurchmessern von $d_s = 160 - 200 \mu\text{m}$ sowie die Bewertung des Produktivitätssteigerungspotenzials gegenüber konventionellen LPBF-Anlagen mit $d_s = 80 - 100 \mu\text{m}$. Dabei konnte für defokussierte gaußförmige und Ring-Mode Laserintensitätsverteilungen ein wärmeleitungsdominiertes Prozessregime im gesamten betrachteten Prozessparameterbereich festgestellt werden. Zusätzlich konnte durch die

Verwendung defokussierter gaußförmiger und Ring-Mode Intensitätsverteilung beim LPBF von IN625 eine gleichbleibende Bauteildichte von $\rho_{rel} \geq 99.9\%$ bei gleichzeitiger Steigerung der Produktivität um bis zu 150% gegenüber gaußförmigen Laserintensitätsverteilungen mit $d_s = 80 - 100 \mu\text{m}$ erreicht werden.

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Tim Lantzsch, M.Sc.

☎: +49 (0) 241 8906-193

✉: tim.lantzsch@ilt.fraunhofer.de

🌐: www.ilt.fraunhofer.de

INiTiTe - 3D-Druck komplexer und kompakter NiTi-Bauteile mit thermoplastischem Filament

Nitinol, eine intermetallische Nickel-Titan-Legierung, zeigt als Formgedächtnis-Material außergewöhnliche mechanische Eigenschaften, da es spannungs- oder temperaturinduziert zu einer reversiblen Umwandlung von austenitischem in martensitisches Gefüge kommt. Es können sehr hohe Dehnungen bis 8% realisiert werden, die aufgrund der auftretenden Phasenumwandlung als pseudo- oder superelastisch bezeichnet werden. Um diese Eigenschaften vollständig nutzen zu können, müssen Verunreinigungen in der Mikrostruktur vermieden werden. Daher wird dieser Werkstoff hauptsächlich kontrolliert schmelzmetallurgisch zu draht-, rohr- oder blechartigen Halbzeugen verarbeitet. Eine mechanische Nachbearbeitung zur Endform ist jedoch wegen einer starken Kaltverfestigung, der hohen Duktilität und dem schlechten Spanbruch sehr schwierig und kostenintensiv.

Mit Hilfe der additiven Fertigung können geometrische Gestaltungsgrenzen deutlich erweitert und funktionsgerechte statt fertigungsgerechte Bauteile endkonturnah

hergestellt werden. Im Umfeld der additiven Fertigung von Nitinol sind derzeit vorrangig Arbeiten im Bereich des Laser Powder Bed Fusion (LPBF) bekannt. Hier ist zwar aufgrund der binderfreien pulvermetallurgischen Verarbeitung die Herstellung verunreinigungsarmer Bauteile möglich. Doch die bei der Verarbeitung auftretenden Spannungen beschränken die Gestaltfreiheit für kompakte Bauteile.

Um diese Hürde zu umgehen, arbeitet ein Team der Fraunhofer-Institute IFAM, IWU und IKTS im Rahmen des Fraunhofer-Forschungsclusters Programmierbare Materialien CPM an einer thermoplastischen Formgebungsrouten. Mit Hilfe des Fused Filament Fabrication (FFF, filamentbasierte additive Fertigung) sollen mittels Standard-3D-Druckern kompakte Grünteile additiv hergestellt werden. Aufgrund ihrer Polymermatrix können diese im Anschluss mit konventionellen Hartmetallwerkzeugen einfach spanend bearbeitet werden. Erst in der anschließenden Wärmebehandlung werden die Teile zu vollmetallischen Bauteilen verdichtet. Erste Untersuchungen



Grünbearbeitung eines kompakten NiTi Teils gefertigt über Fused Filament Fabrication (FFF)

zeigen sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Fertigbarkeit von kompakten und komplexen Geometrien mit hoher Oberflächenqualität. Ziel der Fraunhofer-Forscher ist es, diese neuartige Technologie einem breiten industriellen Anwenderkreis zur Herstellung geometrisch komplexer, kompakter Komponenten mit superelastischen und/oder Formgedächtniseigenschaften, wie z. B. Aktoren oder Dämpfungselemente, verfügbar zu machen.

Fraunhofer Cluster of Excellence Programmable Materials CPM

Dipl.-Ing. Johannes Abel

☎: +49 (0) 761 5142-418

✉: geschaeftsstelle@cpm.fraunhofer.de

🌐: www.cpm.fraunhofer.de



Additive Fertigung von konturnahen Bauteilen aus Aluminiumlegierungen

Additive Fertigung mittels Liquid Metal Printing (LMP)

Wirtschaftliche, drahtbasierte additive Herstellung mit Aluminiumlegierungen

Am Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV wird mit einer ersten Anlage der Firma GROB-Werke GmbH & Co. KG die innovative Fertigungstechnologie Liquid Metal Printing (LMP) etabliert, die der Prozesskategorie Material-Jetting zugeordnet werden kann. Beim LMP-Verfahren

werden Bauteile schichtweise durch die Abscheidung von Tropfen generiert. Hierfür wird Draht zunächst in einem geheizten Tiegel aufgeschmolzen. Über einen Keramikkolben, der durch einen Piezoaktor bewegt wird, wird durch einen axialen Stoß ein Tropfen über eine Düsenbohrung mit einem Durchmesser von beispielsweise 500 µm ausgestoßen. Der Tropfen trifft dann auf die Bauplattform und es entsteht eine Anhaftung durch die schnelle Erstarrung des Tropfens. Durch wiederholtes

Abscheiden können somit Volumenkörper hergestellt werden. Im aktuellen Entwicklungsstatus können Tropfen, unter Einsatz einer Düse mit einem 500 µm Bohrloch, mit Durchmessern zwischen 400-750 µm bei Frequenzen bis zu 300 Hz erzeugt und abgeschieden werden. Im Gegensatz zu pulverbettbasierten additiven Fertigungsverfahren wie dem selektiven Laserstrahlschmelzen, welches aktuell vermehrt industrielle Anwendung findet, kann das LMP-Verfahren durch die Verwendung des Drahtwerkstoffs als Rohstoff deutlich wirtschaftlicher betrieben werden. Es entfallen zudem teure Investitionen wie Laserstrahlquellen und Optiken. Aktuell werden primär nicht-magnesiumhaltige Aluminiumlegierungen verarbeitet. Um den

Einsatzbereich des Verfahrens für hochanspruchsvolle Anwendungen zu erweitern, liegt der Fokus der Entwicklung auf der Qualifizierung relevanter Legierungen z. B. aus der 7000-er Reihe.

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

Dipl.-Ing. Ismail Ünsal

☎: +49 (0) 821 90678-176

✉: ismail.uensal@igcv.fraunhofer.de

🌐: www.igcv.fraunhofer.de

Angepasste Leichtbaustrukturen

Durch die schichtweise Fertigung beim LPBF können Material und Ressourcen eingespart werden – das steigert die Effizienz und trägt zur Schonung der Umwelt bei.

Life Cycle Assessment (LCA) für die LPBF Prozess- und Systemtechnik

Laser Powder Bed Fusion goes green

Mit additiven Fertigungsverfahren wie dem Laser Powder Bed Fusion (LPBF) können komplexe Funktionsbauteile ressourceneffizient und wirtschaftlich gefertigt werden. Daher wird den additiven Fertigungsverfahren eine hohe Relevanz zur Verbesserung der Nachhaltigkeit bei zukünftigen Produktentwicklungen zugeschrieben. Allerdings stehen dem geringen Einsatz von Ausgangsmaterial in Form von Metallpulver erhöhte Aufwände wie beispielsweise der Energie bei der Fertigung über die hohen Prozesszeiten gegenüber. Ein ganzheitliches Life Cycle Assessment (LCA) des LPBF-Prozesses im Kontext der finalen Anwendung und unter Berücksichtigung der Einflussgrößen der vor- und nachgelagerten Prozessschritte ist daher für eine Bewertung der Nachhaltigkeit notwendig. Zur ganzheitlichen Betrachtung des Lebenszyklus eines gefertigten Bauteils werden die Prozessschritte von der Pulverherstellung, der Fertigung bis hin zur Applikation und dem Recycling untersucht. Die Prozesskette wird in einem digitalen Modell zusammen mit ihren Input- und Output-Größen abgebildet. Speziell für das

LPBF-Verfahren stehen jedoch noch kaum belastbare Informationen zur Verfügung, sodass diese mittels experimenteller Messungen an den Systemen zusammen mit Partnern aus der Industrie und Forschung ermittelt und analysiert werden müssen.

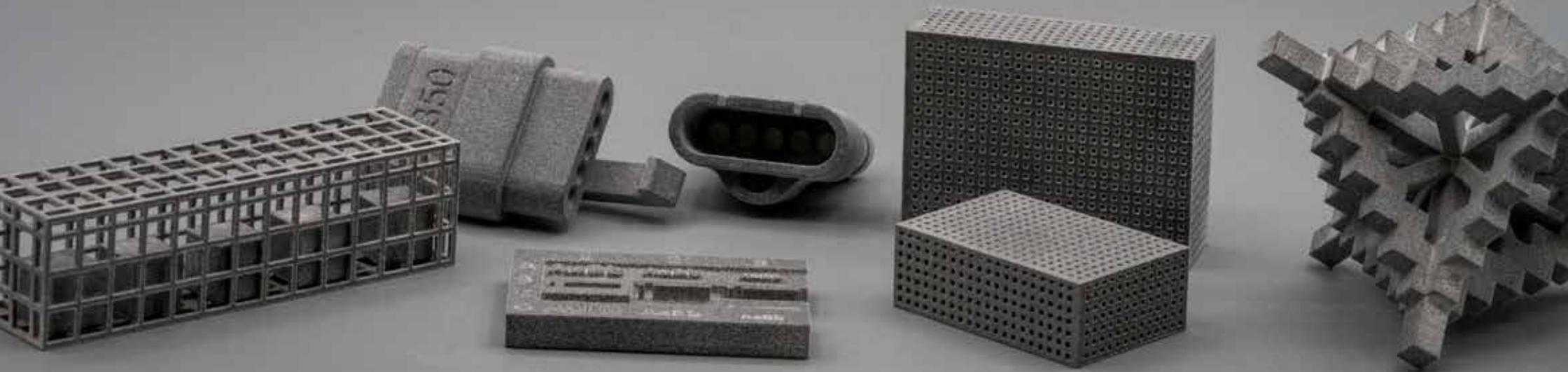
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Christian Weiß, M.Sc.

☎: +49 (0) 241 8906-608

✉: christian.weiss@ilt.fraunhofer.de

🌐: www.ilt.fraunhofer.de



Anlagentechnik für polymere Serienbauteile

Werkstoffextrusion mit High-Performance Thermoplasten

Das Fused Layer Modeling ist insbesondere für die Verarbeitung von Hochleistungs-Thermoplasten ein von der Industrie immer häufiger nachgefragtes Verfahren zur additiven Herstellung komplexer Kunststoffbauteile. Nicht nur für die Luftfahrt, sondern auch für den Maschinen- und Anlagenbau oder die Medizintechnik spielen Kunststoffe wie PEEK, PEI, oder PPSU eine gewichtige Rolle.

Für die anwendungs- und materialspezifische Prozessentwicklung steht am Fraunhofer IPA ab sofort die offene Anlage FUNMAT PRO 610HT des Herstellers INTAMSYS zur Verfügung, welche über eine bis zu 300 °C temperierbare Baukammer verfügt und Filamentwerkstoffe

bei einer Temperatur von bis zu 500 °C extrudieren kann. Die filamentbasierte Anlage ist auf Grund ihrer Bauraumgröße von 610 mm x 508 mm x 508 mm auch für die Herstellung größerer Strukturbauteile geeignet. Zum Einsatz kommt die Anlage aktuell in Forschungsprojekten in den Bereichen Medizintechnik sowie Luft- und Raumfahrt. Im Rahmen einer Projektoperation wird parallel mit dem Hersteller an der anwendungsspezifischen Prozessoptimierung gearbeitet.

High-Speed-Sintering als wirtschaftliche Alternative zum selektiven Lasersintern

Die Technologie des High-Speed Sinterings ist eine wirtschaftliche Alternative zum selektiven Lasersintern. Neben den

Bauteile hergestellt mit der Anlage vom Typ H350 der Fa. Stratasys

Unternehmen HP und Voxeljet ist seit Mitte 2021 die Fa. Stratasys als weiterer Technologieanbieter auf dem Markt. Das Fraunhofer IPA verfügt als erste Forschungseinrichtung in Europa über eine entsprechende Anlage vom Typ H350. Die Anlage setzt aktuellste Inkjet-Druckköpfe der Firma XAAR ein, so dass hocheffiziente Absorbierertinten für den Prozess verwendet werden können. Das System erlaubt außerdem die Verarbeitung von Pulvern von verschiedenen Lieferanten. Das Fraunhofer IPA unterstützt industrielle Anwender bei der Implementierung der Technologie bis hin zur Fertigung von Serienbauteilen. Dabei steht neben der anwendungsspezifischen Qualifizierung des Prozesses selbst auch die industrielle Gesamtprozesskette im Fokus. Die enge Zusammenarbeit mit der Fa. Stratasys ermöglicht es, dass die

für die Prozessentwicklung notwendige Zugänglichkeit der Anlage gewährleistet ist und die Ergebnisse auch in die Weiterentwicklung der Anlagentechnik einfließen können.

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Dipl.-Ing. Oliver Refle

☎: +49 (0) 711 970-1867

✉: oliver.refle@ipa.fraunhofer.de

🌐: www.ipa.fraunhofer.de



DED Additive Manufacturing von Großbauteilen

Direct Energy Deposition (DED) ist ein additiver Fertigungsprozess, der abhängig von der verwendeten Energiequelle und dem Bewegungssystem flexibel und in weiten Grenzen skalierbar in Bezug auf die Abmessungen der gefertigten Bauteile einsetzbar ist. Diese Eigenschaft ermöglicht, anders als pulverbettbasierte Bauteilabmessung, die inhärenten Vorteile der Additiven Fertigung, wie z.B.: Verkürzung der Prozessketten, geometrische Flexibilität, Verringerung des Materialabfalls und Verkürzung der Durchlaufzeiten auch auf sehr große Bauteile anzuwenden.

Einleitung

DED ist eine Gruppe von Technologien, bei denen eine Energiequelle genutzt wird, um einen Werkstoff direkt am Werkstück aufzuschmelzen. Im Gegensatz zu typischen Schweißanwendungen wird dabei Schicht für Schicht ein Bauteil erzeugt. Diese Technologien werden vermehrt in diversen Industriezweigen (Luft- und Raumfahrt, Schifffahrt, Automobilbau) eingesetzt: z.B. zum Aufbau von endkonturnahen Bauteilen, zum Auftrag komplexer Strukturen auf bestehende Halbzeuge sowie zur Bauteilreparatur. Das metallische Ausgangsmaterial liegt i.d.R. in Form von Pulver oder Draht vor. In Forschung und Industrie kommen verschiedene Energiequellen zum Einsatz. Das Fraunhofer IWS konzentriert sich auf den Laser als Energiequelle, da eine große Bandbreite an bearbeitbaren Werkstoffen

Links: Paralleler Aufbau eines Titanbauteils durch LMD unter Verwendung eines kooperierenden Doppelroboters und des neuartigen Prozesskopfes »COAXshield« zur Gewährleistung der erforderlichen Materialeigenschaften. Rechts: Detail des Demonstrators frei von Anlaufnarben

zur Verfügung steht, der Energieeintrag sehr gut steuerbar ist und die geometrischen Eigenschaften des abgeschiedenen Materials sehr flexibel auf die jeweiligen Bauteilanforderungen zugeschnitten werden können.

Topologieoptimierung von Schienenfahrzeug-Seitenwandelementen

Schienenfahrzeugseitenwände werden auf herkömmliche Weise in einer komplexen Fertigungskette aus Schneiden, Kanten und Schweißen hergestellt. Die Blechstruktur ist durch komplex angeordnete und einzeln eingeschweißte Profile versteift. Dabei ist die geometrische Flexibilität durch die Verwendung einfacher Halbzeuge stark eingeschränkt. Mittels laserbasiertem DED können diese Versteifungsstrukturen

flexibel und bedarfsgerecht stoffschlüssig direkt auf das Bauteil aufgetragen werden. Am Beispiel eines realen Seitenwandelements (1,7 x 2,5 m) wurde gezeigt, dass ein einziger additiver Fertigungsprozess alle für die Herstellung und Montage der vertikalen und horizontalen Versteifungsstrukturen erforderlichen Schritte ersetzen kann. Auf Basis der nun möglichen Topologieoptimierung wurde eine erhebliche Geschichtseinsparung von 20 % bei gleichbleibender Steifigkeit des Bauteils erreicht.

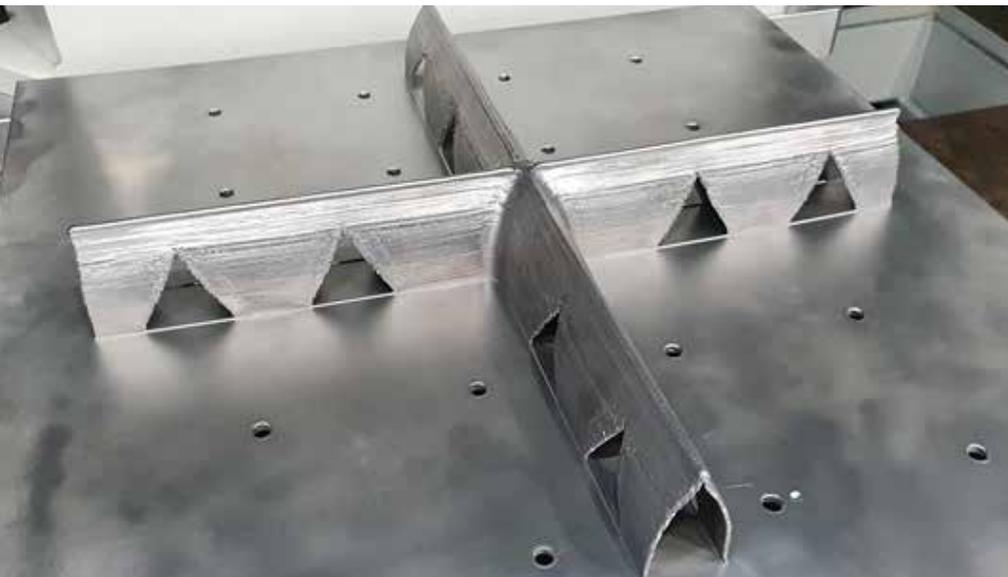
Hybride Fertigung von großen Flügelrädern

Hochleistungskompressoren sind während ihres Betriebes hohen Belastungen ausgesetzt. Sie werden häufig als Einzelteil aus einem einzigen massiven Block subtraktiv herausgearbeitet, da Fügestellen zu



oben: Vollständiger Demonstrator mit topologieoptimierten Versteifungsstrukturen, hergestellt bei Photon AG.

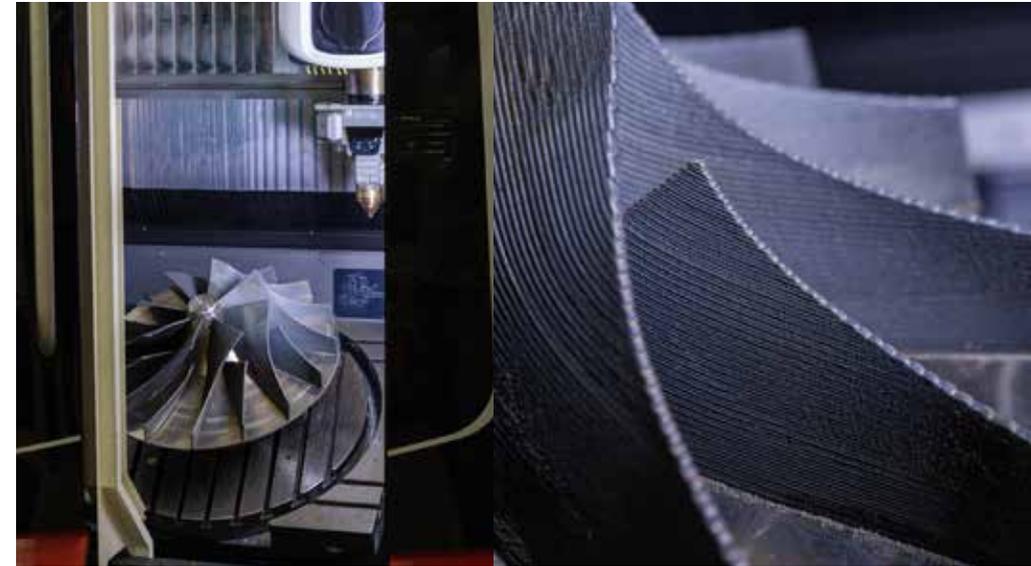
unten: Detail einer Versteifungsstruktur hergestellt durch drahtbasierten LMD-Prozess



schlechteren mechanischen Eigenschaften führen. Die dementsprechend zeitaufwendige Zerspanung führt zu hohen Produktionskosten und einem Materialverlust von fast 90 %. Mittels hybridem Fertigungsansatz bestehend aus Auftragschweißen und 5-Achs-Fräsen in nur einer Maschine kann die Herstellung solcher Bauteile erheblich abgekürzt werden. So lassen sich nicht nur die Produktionskosten und Vorlaufzeiten reduzieren, sondern die bei Großbauteilen besonders relevanten Materialverluste um 50 % senken.

ATHENA Spiegel Modul

Mit der groß angelegten Wissenschaftsmission ATHENA will die Europäische Weltraumorganisation (ESA) das heiße und energiereiche Universum mit



Kompressorlaufrad mit einem Durchmesser von 560 mm, hergestellt in einem hybriden Fertigungsverfahren

fortschrittlicher Röntgentechnologie erforschen. Als Schlüsselkomponente des Teleskops werden Hunderte von Silizium-Poren-Optik-Modulen (SPO) in einer optischen Bank mit einem Durchmesser von etwa 2,5 m angeordnet. Angesichts der Gesamtgröße, der filigranen Zellstruktur und des hohen Seitenverhältnisses in Kombination mit den mechanisch schwer zu bearbeitenden Werkstoff Ti6Al4V stellt die additive Fertigung durch LMD eine vielversprechende Alternative zur konventionellen Fertigung dar. Neben der Entwicklung eines hochproduktiven additiven Fertigungsprozesses, der für einen robusten Langzeiteinsatz geeignet ist, lag der Schwerpunkt auf der Anpassung und

Validierung von Materialeigenschaften, die den rauen Anforderungen im Weltraum gerecht werden. Die Eignung der entwickelten Technologien und Arbeitsabläufe wurde kürzlich anhand der Herstellung eines repräsentativen Großdemonstrators evaluiert.

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Dipl.-Ing. Mirko Riede

☎: +49 (0) 351 83391-3188

✉: mirko.riede@iws.fraunhofer.de

🌐: www.iws.fraunhofer.de

Impressum

Fraunhofer Kompetenzfeld Additive Fertigung

Sprecher

Dr.-Ing. Bernhard Mueller

☎: +49 (0) 351 4772 2136

✉: spokesman@additiv.fraunhofer.de

🌐: www.additiv.fraunhofer.de

c/o Fraunhofer IWU
Nöthnitzer Strasse 44
01187 Dresden

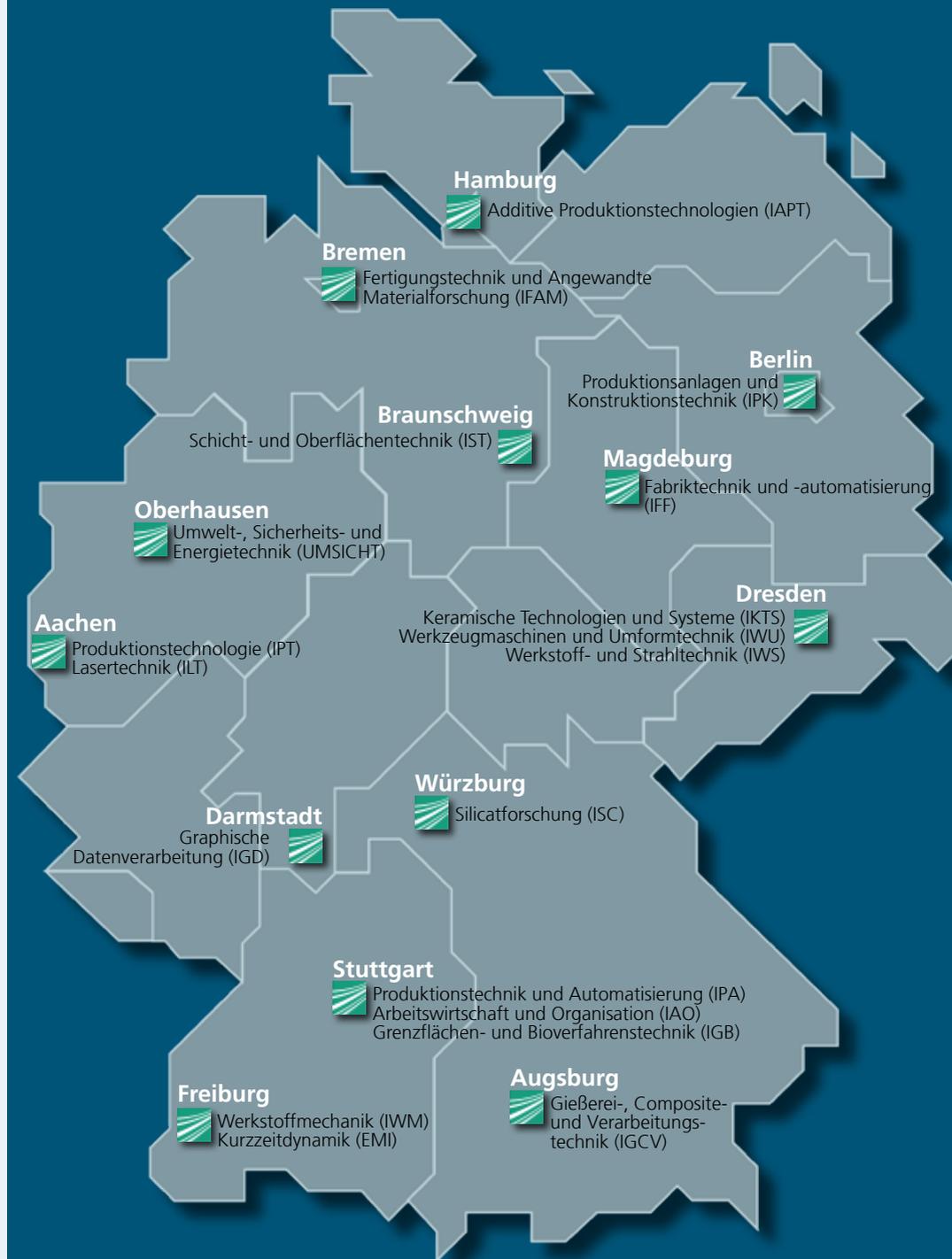
Redaktion und Satz

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

Bildnachweis

Cover:
Fraunhofer ILT, Fotograf: Volker Lannert

Alle weiteren Bildrechte liegen bei
den jeweiligen beitragsstellenden
Fraunhofer-Instituten.



EIN THEMA – 19 INSTITUTE – EIN KOMPETENZFELD

FRAUNHOFER KOMPETENZFELD ADDITIVE FERTIGUNG

Das Kompetenzfeld Additive Fertigung der Fraunhofer-Gesellschaft integriert deutschlandweit neunzehn 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 Industrienaufträgen und Forschungsprojekten bildet die Grundlage für uns, kundenindividuelle Konzepte zu entwickeln und komplexe Aufgaben zu bewältigen.

Die Aktivitäten konzentrieren sich auf die Leitthemen Engineering, Werkstoffe, Technologien, Qualität sowie Software und Simulation. Die Tätigkeiten umfassen neben dem direkten Einsatz der additiven Technologien auch Material- und Anwendungsentwicklung, sowie Themen rund um die Qualität. Das Kompetenzfeld Additive Fertigung richtet sich an Branchen wie Automobil und Luftfahrt, aber auch Biomedizin- und Mikrosystemtechnik.

Fraunhofer EMI | www.emi.fraunhofer.de
Fraunhofer IAO | www.iao.fraunhofer.de
Fraunhofer IAPT | www.iapt.fraunhofer.de
Fraunhofer IFAM | www.ifam.fraunhofer.de
Fraunhofer IFF | www.iff.fraunhofer.de
Fraunhofer IGB | www.igb.fraunhofer.de
Fraunhofer IGCV | www.igcv.fraunhofer.de
Fraunhofer IGD | www.igd.fraunhofer.de
Fraunhofer IKTS | www.ikts.fraunhofer.de
Fraunhofer ILT | www.ilt.fraunhofer.de
Fraunhofer IPA | www.ipa.fraunhofer.de
Fraunhofer IPK | www.ipk.fraunhofer.de
Fraunhofer IPT | www.ipt.fraunhofer.de
Fraunhofer ISC | www.isc.fraunhofer.de
Fraunhofer IST | www.ist.fraunhofer.de
Fraunhofer IWM | www.iwm.fraunhofer.de
Fraunhofer IWS | www.iws.fraunhofer.de
Fraunhofer IWU | www.iwu.fraunhofer.de
Fraunhofer UMSICHT | www.umsicht.fraunhofer.de