



3D PRINTING FOR MASS PRODUCTION

ADDITIVE FERTIGUNG KERAMISCHER BAUTEILE

IMPLANTATE MITTELS LASERSTRAHLSCHMELZEN

TISSUE ENGINEERING



Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference DDMC 2016

From March 16-17, 2016 the third Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference will be taking place at the Sofitel Kurfürstendamm in Berlin. The conference will cover the entire range of topics in additive manufacturing, starting with methodologies, design and simulation, right up to more application-specific topics, e.g. from the realm of medical engineering and electronics.



Purpose of the Fraunhofer Direct Digital Manufacturing Conference is an intellectual exchange between researchers, enterprises and users of Additive Manufacturing technologies in order to gather the latest information about trends, progress, importance and the future potential of these technologies for industrial applications.

Keynote Speaker DDMC 2016

Dr. Richard Bibb, Loughborough University, England
Prof. Dr. Boris N. Chichkov, Laser Zentrum Hannover e. V., Germany
Dr. Karl-Heinz Dusel, MTU Aero Engines AG, Germany
Wouter Gerber, Aerosud, South Africa
Dr. Tommaso Ghidini, ESA/ ESTEC, The Netherlands
Prof. Dr. Lambert Grosskopf, University of Bremen, Germany
Dr. Martin Hillebrecht, EDAG Engineering, Germany



Rapid.Tech

Zukunftsorientiert, innovativ und effizient

Die Rapid.Tech – Fachmesse und Anwendertagung für Rapid-Technologie in Erfurt stellt die Prozessentwicklung vom Prototypen bis hin zur direkten Fertigung des Endprodukts dar.

Besuchen Sie uns auf unserem Stand!

Fraunhofer-Kompetenz für die generative Fertigung

Die Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung integriert deutschlandweit fünfzehn Fraunhofer-Institute und bildet damit die gesamte Prozesskette der generativen Fertigung ab. Dies umfasst die Entwicklung, Anwendung und Umsetzung generativer Fertigungsverfahren und Prozesse. Die Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung GENERATIV wurde gegründet, um anwendungsorientierte Entwicklungen und damit auch Trends in der Generativen Technologie zu setzen.

Dem Fortschritt verpflichtet

Die langjährige Erfahrung aus nationalen und internationalen Industrieaufträgen und Forschungsprojekten bildet die Grundlage für uns, kundenindividuelle Konzepte zu entwickeln und komplexe Aufgaben zu bewältigen. Die Tätigkeiten umfassen neben dem direkten Einsatz der generativen Technologien auch Material- und Anwendungsentwicklung sowie Themen rund um die Qualität. Die Fraunhofer-Allianz GENERATIV richtet sich an Branchen wie Automobil und Luftfahrt, aber auch Bio-, Medizin- und Mikrosystemtechnik sowie den Maschinen- und Anlagenbau.

STAND 2 - 511
ERFURT
14. BIS 16. JUNI 2016

3D-DRUCK FÜR DIE SERIENFERTIGUNG

Fraunhofer IFAM entwickelt kontinuierlichen 3D-Druck für die Serienfertigung

Das dreidimensionale Drucken von Polymer-, Metall- oder Keramikbauteilen gehört zu den additiven Technologien und bietet die Chance, individuelle und komplexe Produkte für unterschiedlichste Anwendungen herzustellen. Bislang ist dieser Fertigungsprozess diskontinuierlich und bedarf einer aufwendigen Betreuung. Gefördert durch die VolkswagenStiftung haben Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM eine neue Fertigungsanlage entwickelt, die einen kontinuierlichen und automatisierten Betrieb für flüssige Kunststoffe ermöglicht. Erste Bauteile für den Consumer-Bereich sind bereits gefertigt.

Pulverbasierte kontinuierliche Verfahren existieren bereits. Das Herstellungsprinzip lässt sich jedoch nicht auf flüssige Werkstoffe, wie sie im Stereolithographie-Prozess eingesetzt werden, übertragen. Bei der konventionellen Stereolithographie werden ausgewählte Bereiche in der jeweiligen Schicht mit UV-Licht bestrahlt und damit ausgehärtet. Schicht für Schicht wird dieser Vorgang wiederholt, bis die entsprechende Anzahl von Lagen für den Aufbau der Bauteile abgeschlossen ist. Im Anschluss werden die Elemente aus dem Bauraum entnommen und dieser neu eingerichtet (Batch-Fertigung). Ein aufwendiger Arbeitsschritt, der zurzeit ein Hindernis für die Serienfertigung darstellt und zudem

hochqualifiziertes Personal erfordert.

Kontinuierliche Fertigung nach dem Schichtbauprinzip

Der neu entwickelte Prozess nutzt die Technik der kontinuierlichen Photopolymerisation nach dem Digital Light Processing-Prinzip zur schichtweisen Herstellung von Bauteilen. Der wesentliche Unterschied zu den üblichen Batch-Systemen ist, dass bei diesem neuen Ansatz eine drehbare Walze als Substrat genutzt wird und die flache Bauplatte einfach entfällt. Der untere Teil dieser Walze wird dabei in ein Polymer-Bad eingetaucht und durch mehrere Lichtquellen in exakt definierter, zunehmender Entfernung beleuchtet. Dies ist erforderlich, um das Polymer an verschiedenen Stellen in unterschiedlichen Stufen auf der Oberfläche der Walze mittels Licht selektiv aushärten zu lassen. Bei der schrittweisen Drehung der Walze wird Schicht für Schicht ein dreidimensionales Bauteil auf dem eingetauchten Teil des Zylinders aufgebaut. Die fertigen Bauteile können auf der Oberseite der Walze automatisiert von der Oberfläche getrennt werden. Damit ist die Substratfläche wieder bereit und der Prozess kann uneingeschränkt voranschreiten.

Eine kontinuierliche Fertigung stellt insbesondere im Hinblick auf die Verwendung der Ressourcen einen großen Vorteil dar,

3D-DRUCK FÜR DIE SERIENFERTIGUNG

da komplette Bauteile laufend die Produktionsstraße verlassen und dadurch die Arbeitsabläufe verstetigt und somit verbessert werden. Bisher sind die Produktionszykluszeiten der herkömmlichen Additive Manufacturing-Verfahren nicht vergleichbar mit konventionellen Fertigungslinien der Großserienproduktion. Der Ansatz der Fraunhofer IFAM-Forscher geht in Richtung einer kostengünstigen individuellen Massenfertigung und wird die Wirtschaftlichkeit des Generativen Verfahrens entscheidend verbessern.

Gefördert durch die VolkswagenStiftung,
AZ. 87473

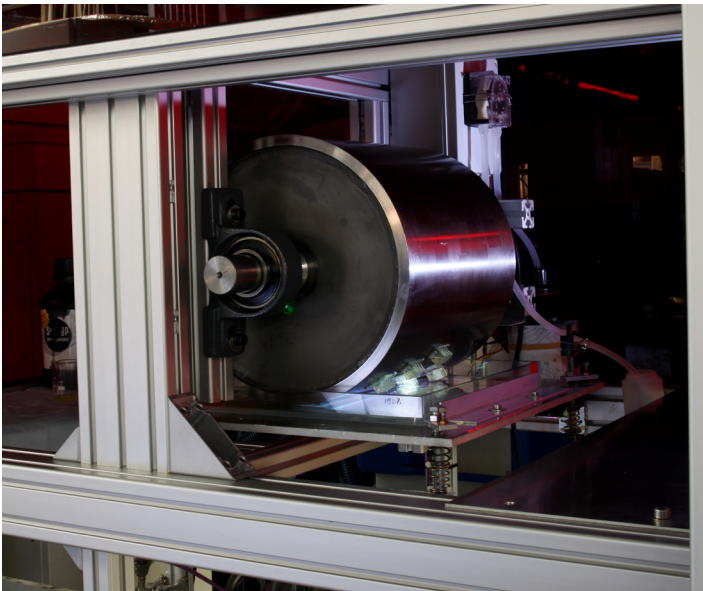
Kontakt

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung IFAM

Thorsten Müller

Telefon: +49 421 2246 133

E-Mail: thorsten.mueller@ifam.fraunhofer.de



*Kontinuierliche Fertigung nach dem Schichtbauprinzip für Kunststoffe.
(© Fraunhofer IFAM/Thorsten Müller)*

3D-PRINTING FOR MASS PRODUCTION

Fraunhofer IFAM develops continuous 3D printing for mass production

Three-dimensional printing of polymer, metal or ceramic components is an additive manufacturing technology and enables the manufacture of individual and complex products for a variety of applications. Up to now, this manufacturing process has been a batch process and has required costly maintenance. Sponsored by the Volkswagen Foundation, scientists at the Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM have developed a new production line which facilitates a continuous and automated operation for liquid synthetic materials. The first components for the consumer sector have already been manufactured.

Powder-based continuous procedures already exist. However, the manufacturing principle cannot be transferred to liquid materials as they are used in the stereolithography process. During conventional stereolithography, selected areas of each layer are cured by radiation of UV light. This process is repeated layer by layer until the corresponding number of layers for the construction of the components has been completed. The elements are subsequently removed from the installation space, which is then set up again. This is a complex procedure which currently stands as an obstacle to mass production and also demands highly qualified staff.

Continuous manufacture using the layer-by-layer principle

The newly developed process uses the technology of continuous photopolymerisation based on the digital light processing system for the layer-by-layer manufacture of components. The significant difference compared with the usual production systems for additive manufacturing is that this new approach uses a rotating cylinder as the substrate and the flat platform is simply omitted. The lower part of this cylinder is submerged in a liquid polymer in the process and is illuminated by multiple light sources at an exactly defined and increasing range. This is necessary in order that the polymer can selectively be cured on the surface of the cylinder in different areas at various stages. As the cylinder gradually rotates, a three-dimensional component is built-up layer by layer on the submerged part of the cylinder. The manufactured components on the top of the cylinder can automatically be detached from the surface. The substrate surface is then ready again and the process can fully proceed.

Continuous manufacture is a great advantage particularly in view of the use of resources, as complete components constantly leave the production line and therefore operations are stabilised and thus improved. Up to now, the production cycle

3D-PRINTING FOR MASS PRODUCTION

times of the traditional additive manufacturing procedures have been incomparable with conventional production lines of mass production. The approach of the Fraunhofer IFAM researchers is directed towards cost-effective individual mass production and will significantly improve the economic efficiency of the additive manufacturing technique.

Sponsored by the Volkswagen Foundation, file number: 87473

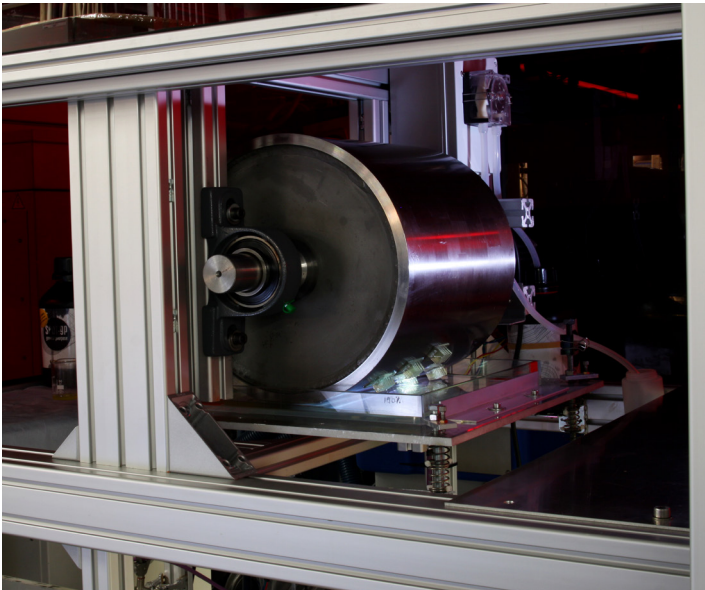
Contact

Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM

Thorsten Müller

Phone: +49 421 2246 133

E-Mail: thorsten.mueller@ifam.fraunhofer.de



*Continuous manufacture using the layer-by-layer principle for synthetic materials.
(© Fraunhofer IFAM/Thorsten Müller)*

Lithographiebasierte additive Fertigung keramischer Bauteile

Additive Fertigungsverfahren gewinnen auch für Keramiken immer mehr an Bedeutung. Sie stehen gleichwohl, im Unterschied zur additiven Fertigung von Metallen und Polymeren, erst am Anfang der technischen Umsetzung. Das derzeitige Design von keramischen Bauteilen wird bislang in erster Linie durch die Möglichkeiten der konventionellen Formgebung bestimmt.

Additive Fertigungsverfahren gestatten Bauteilgeometrien herzustellen, die mit herkömmlichen keramischen Formgebungsverfahren nicht realisierbar sind, wie z. B. Komponenten mit komplexen inneren Kanälen. Durch die geometrische Vielfalt sind auch prinzipiell Keramikbauteile mit ortsaufgelöstem Eigenschaftsprofil herstellbar, indem die Struktureigenschaften (z. B. Wandstärken, Hohlräume, Durchbrüche) an jedem beliebigen Punkt des Bauteils variiert werden. Damit werden zukünftig neue, geometrisch und funktional komplexe Keramikkomponenten als Individualteil oder Kleinserie, für technische und medizinische Anwendungen verfügbar sein. Um dichte Werkstoffgefüge mit hohem Eigenschaftsniveau zu erhalten, müssen additive Fertigungsverfahren genutzt werden, die Suspensionen oder Pasten verarbeiten, in denen das Keramikpulver homogen dispergiert und mit möglichst hohem Volumenanteil vorliegt. Für die Herstellung dichter Keramikbauteile ist das

DLP-Verfahren (digital light processing) sehr erfolgversprechend. Das Keramikpulver wird in einem fotopolymerisierbaren, organischen Bindersystem homogen dispergiert. Durch die selektive Belichtung (mittels Mikrospiegel) dieser Suspension entsteht schichtweise der Keramik-Formkörper (Grünkörper). Das DLP-Prinzip wird in der Anlage CeraFab7500 (Lithoz GmbH, Wien), die am IKTS genutzt wird, umgesetzt.

Für dieses speziell für die additive Fertigung von Keramik entwickelte Verfahren hat sich der Name Lithography-based Ceramic Manufacturing (LCM) etabliert. In der genannten Anlage kann die Schichthöhe zwischen 25 µm und 100 µm variiert werden, die laterale Auflösung beträgt 40 µm. Die Initiierung der radikalischen Polymerisation eines fotosensitiven Bindersystems erfolgt selektiv mittels Bestrahlung mit blauem Licht über das DLP-Modul, womit alle zu vernetzenden Bereiche einer Schichtebene gleichzeitig belichtet werden. Das erhöht die Produktivität gegenüber einer punktförmigen Bestrahlung mittels UV-Laserstrahl, wie es beispielsweise bei der Stereolithografie erfolgt. Beim LCM-Verfahren werden die Bauteile über Kopf gefertigt, die aktuell gefertigte Schicht ist also immer die unterste im Suspensions-Vorratsbehälter (Wanne). Nach der Aushärtung der Schicht am Wannenboden wird das Bauteil von diesem abgelöst und nach oben verfahren. Durch die Rotation der Wanne erfolgt der Auftrag einer neuen Suspensi-

ADDITIVE FERTIGUNG KERAMISCHER BAUTEILE

onsschicht, in die das Bauteil anschließend wieder eintaucht. Dabei wird zwischen dem Wannboden und dem bereits gefertigten Bauteil die Höhe eingestellt, die der jeweiligen Schichtdicke (25 bis 100 μm) entspricht. Es kann mit sehr wenig Suspensionsvolumen ($< 50 \text{ ml}$) gearbeitet werden, was für sehr kostenintensive Materialien von großer Bedeutung ist.

Momentan können Suspensionen für drei verschiedene Keramikwerkstoffe (Al_2O_3 , ZrO_2 und Tricalciumphosphat) auf der LCM-Anlage verarbeitet werden. Suspensionen für andere Keramikwerkstoffe werden auf Kundenwunsch entwickelt. Die verwendeten Suspensionen haben einen hohen Feststoffvolumenanteil, womit Gründichten bis 50% erreichbar sind. Die erreichbaren Sinterdichten nach dem anschließenden konventionell-thermischen Processing (Entbindern / Sintern) betragen für Al_2O_3 mind. 99,4 %

der theoretischen Dichte und für ZrO_2 mind. 99,0 %. Das Fraunhofer IKTS nutzt das LCM-Verfahren z. B. für die Herstellung neuartiger Strukturen, die als statische Mischer oder Katalysatorträger angewendet werden können.

Abb. 1 zeigt das CAD-Modell einer Wabe, die nicht nur Durchbrüche in den Kanalwänden sondern auch Strömungselemente in Form dreieckförmiger Taschen aufweist, durch die das durchströmende Fluid aktiv umgelenkt wird. Dadurch wird die Durchmischung und Anströmung der Wände verbessert. Letzteres ist für Katalysatorträgerstrukturen von entscheidender Bedeutung. Nach der Formgebung mittels LCM werden die grünen Wabenstrukturen (Abb. 2a) entbindert und gesintert.

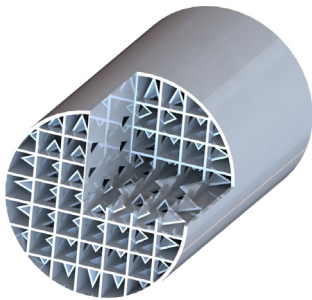


Abb. 1: Geschnittenes CAD-Modell für Wabenstruktur mit Strömungselementen (© Fraunhofer IKTS)

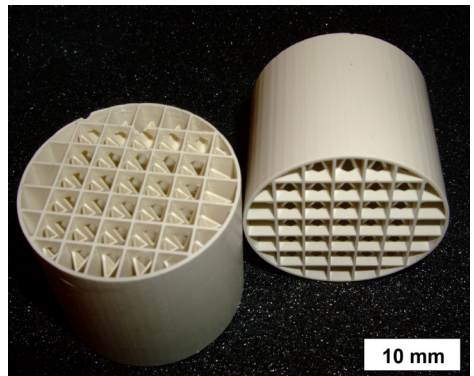


Abb. 2a: Mittels LCM hergestellte, grüne Wabenstruktur aus Al_2O_3 (© Fraunhofer IKTS)

ADDITIVE FERTIGUNG KERAMISCHER BAUTEILE

Ein solches gesintertes Musterteil aus Al_2O_3 ist in Abb. 2b dargestellt.

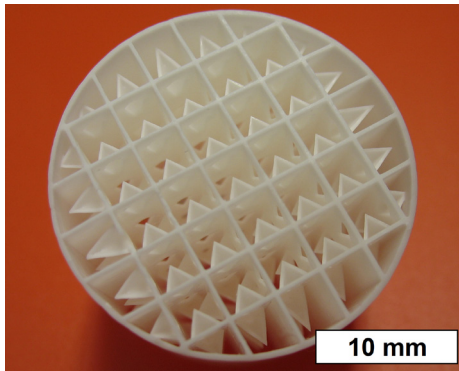


Abb. 2b: Mittels LCM hergestellte, gesinterte Wabenstruktur aus Al_2O_3 , Außendurchmesser 15 mm, Kanäle $1,9 \times 1,9 \text{ mm}^2$, Wandstärke 0,2 mm (© Fraunhofer IKTS)

Die zerstörungsfreie Charakterisierung mittels Computertomographie bestätigt zudem, dass sehr filigrane Strukturen erzeugt werden können und alle Wanddurchbrüche und Strömungselemente offen und somit durchströmbar sind (Abb. 3a und 3b).

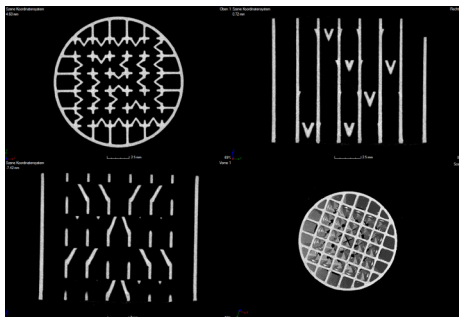


Abb. 3a: CT-Rekonstruktion, Übersicht (© Fraunhofer IKTS)

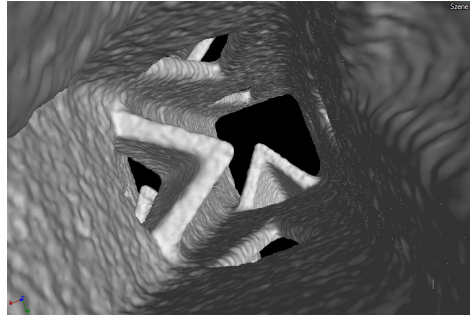


Abb. 3b: CT-Rekonstruktion, Detail (© Fraunhofer IKTS)

Ein anderes Design für statische Mischer basiert ebenfalls auf einer Wabe, allerdings ist diesmal die Kanalgeometrie variabel. Der Durchmesser der einzelnen Kanäle variiert zwischen einem Minimum (1,6 mm) und einem Maximum (3,5 mm). Dabei sind die Kanäle so angeordnet, dass die gegensätzlichen Extrema nebeneinander liegen (Abb. 4 und 5a). An diesen Stellen sind Wanddurchbrüche vorgesehen, um einen Stoffaustausch zu ermöglichen.

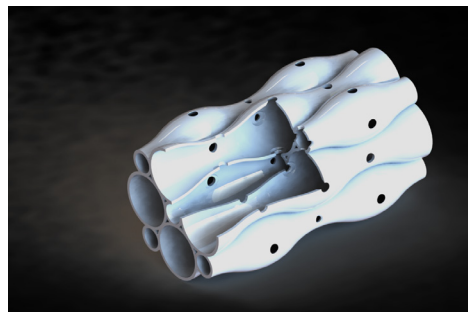


Abb. 4: Geschnittenes CAD-Modell der Wabe mit wechselnder Kanalgeometrie (© Fraunhofer IKTS)

ADDITIVE FERTIGUNG KERAMISCHER BAUTEILE



Abb. 5a: gesinterte Waben mit wechselnder Kanalgeometrie aus Al₂O₃
(© Fraunhofer IKTS)

Infolge der wechselnden Kanalquerschnitte variiert die Strömungsgeschwindigkeit und somit werden unterschiedliche Drücke erzeugt. Die Druckunterschiede zwischen den Extrema der benachbarten Kanäle bewirken den Stoffaustausch. Mittels LCM-Verfahren ist die additive Herstellung hochleistungskeramischer Bauteile mit hohem Eigenschaftsniveau für innovative Anwendungen möglich. Diese Aussage können wir nach fast zweijähriger, erfolgreicher Anwendung des LCM-Verfahrens treffen.

Zukünftig müssen keramische Bauteile nicht mehr so ausgelegt werden, dass sie mit konventionellen Fertigungsverfahren herstellbar sind. Die additive Fertigung bietet eine Vielzahl zusätzlicher Freiheitsgrade und ebnet den Weg zu einer funktionsgerechten Auslegung des Keramikbauteiles, die oftmals in komplexen inneren Geometrien resultiert, die nur mittels additiver Fertigung realisierbar sind (Abb. 5b). Diese neuartigen Bauteile werden im Vergleich zu konventionell gefertigten Keramikteilen ein geringeres Bauvolumen bei gleicher Funktionalität benötigen

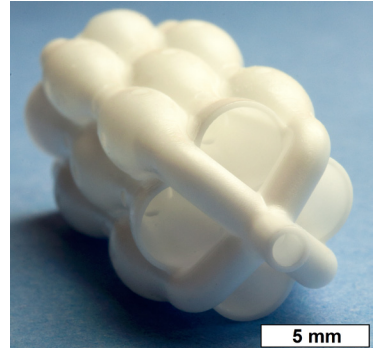


Abb. 5b: gesinterte Waben mit wechselnder Kanalgeometrie aus Al₂O₃ inklusive Zuleitungssystem
(© Fraunhofer IKTS)

oder bei gleichem Volumen eine höhere Funktionalität aufweisen. Unser Leistungsangebot umfasst die gesamte Prozesskette, in der das LCM-Verfahren eingebettet ist:

- fertigungsgerechte und anwendungsangepasste Konstruktion,
- Suspensionsentwicklung,
- Formgebung mittels LCM,
- Anpassung der thermischen Prozesse (Entbindern und Sintern) und
- (falls nötig) Finishbearbeitung des gesinterten Bauteils.

Autoren:

Uwe Scheithauer, Hans-Jürgen Richter, Eric Schwarzer, Tassilo Moritz

Kontakt:

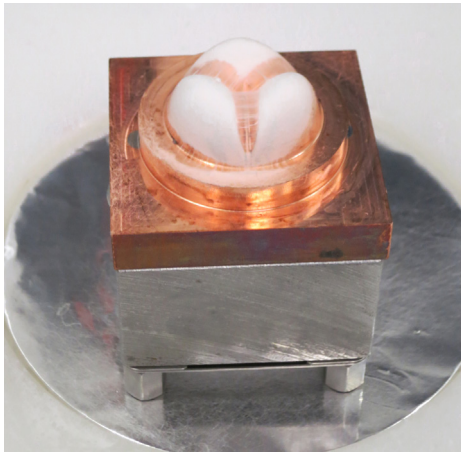
Dipl.-Ing. Uwe Scheithauer
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS
Telefon: 0351 2553 7671
E-Mail: uwe.scheithauer@ikts.fraunhofer.de

TISSUE ENGINEERING OF HEART VALVES

Strategies for heart valve tissue engineering and cardiovascular regenerative medicine

Lack of regeneration of damaged heart valves and heart muscle tissue

Despite significant advances in cardiology and cardiac surgery, diseases of the cardiovascular system are still the number one causes of death worldwide. Heart valves and heart muscle are often affected causing a significant reduction of heart function and quality of life for the patient. There is very little to no regeneration of the adult heart in cases of acute or chronic damage. As with a large number of research groups, the Fraunhofer IGB is working on the important goal of restoring the normal function and performance of the heart.



Synthetic heart valve mimicking nature's blueprint
(© Fraunhofer IGB)

Producing a synthetic heart valve mimicking nature's blueprint

There are currently a number of different transplants available to replace a defective heart valve. However, the currently available prostheses are limited to a maximum use of 25 years. For pediatric patients, prostheses must be exchanged after a number of years because they do not grow with the child. To overcome this limitation, we are developing a heart valve designed to grow with the body by mimicking the valve's natural architecture. The adhering, proliferating and differentiation of cells is influenced by their environment. Synthetic substrates with varying mechanical and biochemical properties can greatly affect the behavior of cells. After a detailed analysis of the native heart valve for architecture, mechanical and biochemical properties, we have developed a synthetic, biocompatible hybrid material by electrospinning, whose properties resemble those of the native heart valve. We were further able to biofunctionalize the synthetic materials with extracellular matrix proteins that we discovered were essential for human heart valve development. Using a specially designed bioreactor system, we were able to demonstrate the *in vitro* function of the heart valve, showing that it could perform under the intense pressure of the heart (Hinderer et al. (2013), *Biomaterials* 35(7): 2130). Due to the lengthy and complicated process of medicinal product authorization, we are working on an »off the shelf« cell-free heart

TISSUE ENGINEERING OF HEART VALVES

valve replacement that can be adapted to the size of the patient. The material is currently being modified to attract circulating endothelial progenitor cells in the blood.

Protein production for heart valves tissue engineering and heart muscle regeneration

We have identified extracellular matrix proteins that are important in the development of human heart valves and myocardial regeneration. At the Fraunhofer IGB, we are producing these proteins which we have applied to a carrier substrate in the development of a cardiac valve replacement. In collaboration with our partner, Dr. Ali Nsair of the University of California (UCLA), the proteins have been injected into the infarct region of mouse hearts, which led to a significant improvement in cardiac output that is similar to current adult stem cell therapies. Based on this data, patents have been filed for the use of our proteins in cardiac regeneration therapies.

Outlook

Mimicking the structure and mechanical properties of the native heart valve, as well as using proteins to »attract« cells in vivo, enables the production of a cell-free off-the-shelf product. The previous limitations of cardiac valve replacement systems, such as the thickening and shortening of valve leaflets or the lack of growth for pediatric patients, could be resolved with our product.

Current approaches to cardiac regeneration, such as injecting stem cells into the heart muscle, have shown modest clinical improvement in function, but at increasing production costs. Injecting the matrix proteins produced in our work, however, provides a way to stimulate the regeneration potential of the heart muscle at lower costs and risks to the patient. It is planned to produce the proteins under GMP conditions for use in clinical applications.

Contact: Fraunhofer IGB

Dr. Svenja Hinderer

Phone +49 711 970 4196

E-Mail: svenja.hinderer@igb.fraunhofer.de

Project Partners: Women's Hospital of the Eberhard-Karls-University Tübingen, Institute for Interfacial Engineering and Plasma Technology IGVP, University Stuttgart
University of California, Los Angeles, USA

Modularer Oberschenkelknochen-Ersatz mittels Laserstrahlschmelzen

Implantate für den Oberschenkelknochen-Ersatz, sogenannte Megaendoprothesen, werden zur Überbrückung bzw. zum Ersatz sehr großer Knochen-Defekte eingesetzt. Sie kommen vor allem bei operativen Tumorbehandlungen und zunehmend beim Implantatwechsel zur Anwendung. Dabei wird von einem sehr starken Anwachsen entsprechender Revisionsoperationen ausgegangen (bis 2030 +74% bei Hüft- und sogar +573% bei Knierevisionen – Quelle: S. Kurtz, K. Ong, E. Lau, F. Mowat, and M. Halpern, »Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030« (eng), J Bone Joint Surg Am, vol. 89, no. 4, pp. 780–785, 2007). Zu den grundlegenden, bisher nicht umgesetzten Anforderungen, gehören unter anderem ähnliches Gewicht wie Knochen, kein Materialversagen, anatomisch korrekte Anbindung von Weichteilgewebe und geringes Infektionsrisiko. Das Ziel des hier beschriebenen ZIM-Kooperations-Projektes ist die Entwicklung eines modularen Oberschenkelknochen-Ersatzes, welcher diese bisher ungelösten Probleme beseitigt. Die Schwerpunkte liegen dabei in der Anwendung des Funktionsleichtbaus zur Erstellung robuster, langlebiger Implantate und textiler Strukturen zur biomechanisch korrekten, intraoperativen Anbindung von Weichteilgewebe. Im Rahmen des beschriebenen

Projektes stand die Aufgabe der Entwicklung der tragenden metallischen Komponenten des Oberschenkelknochen-Ersatzes, basierend auf einem Leichtbau-Konzept, in Kombination mit einer Kunststoffumhüllung der Metallstruktur zur anatomischen Nachbildung des humanen Knochenmaterials. Ein modularer Aufbau eröffnet die Möglichkeit, verschiedene anatomische Größen zur individuellen Anpassung an den Patienten zu schaffen, und gleichzeitig die Adaptierung einer robusten Verbindung zwischen den einzelnen Modulen zu konstruieren, die sich während der OP jederzeit wieder lösen lässt, um Fehlstellungen zu vermeiden. Für den Patienten ist die sichere Langzeitkopplung des Implantates ohne Lockerung der Modulverbindung, Abrieb, Materialbruch oder Entkopplung von größter Bedeutung, neben den Anforderungen auf Ausbleiben chemischer Reaktionen und galvanischer Korrosion sowie geringem Infektionsrisiko nach der



*Ergebnis der Topologieoptimierung
(© Fraunhofer IWU)*

MODULARES IMPLANTAT

Operation. Die Aufgabe der Wissenschaftler des Fraunhofer IWU war es, den tragenden metallischen Teil des Implantats im Leichtbau-Konzept zu entwickeln, damit das Implantat annähernd das gleiche Gewicht wie Knochen aufweist und vom Patienten nicht als störender »Fremdkörper« empfunden wird. Dafür wurde die Topologieoptimierung genutzt, ein Optimierungsverfahren, das auf der Finiten-Elemente-Methode (FEM) basierend die bestmögliche Materialanordnung für ein Bauteil errechnet. Das Ziel der Topologieoptimierung ist unter den vorgegebenen Randbedingungen eine maximale Steifigkeit bei minimalem Materialeinsatz. Eingesetzt wurde das Verfahren im Stadium des Bauteilentwurfs, wenn noch maximal mögliche konstruktive Freiheit herrscht. Ausgangspunkt war der für das Bauteil – im vorliegenden Fall für das Implantat – zur Verfügung stehende anatomische Raum. Er enthält alle notwendigen Randbedingungen:

Schnittstellen zu benachbarten Knochen, Muskelgruppen, Lagerungen und Kräfteeinleitungsstellen. In mehreren iterativen Entwicklungsschleifen wurde final eine Implantatgeometrie entwickelt wie hier abgebildet (Abb. links). Die rechte Abbildung zeigt das aus Titan generativ hergestellte Implantatmodul, einschließlich für den Laserstrahlschmelzprozess erforderlicher Supportstrukturen. Im weiteren Projektverlauf werden mehrere solcher Module eingesetzt, um den spezifischen Montageprozess mit den benachbarten Implantatsegmenten Halskonus und Verlängerungsmodul zu testen und den Nachweis der statischen und dynamischen Festigkeit des gesamten Implantates bei der IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH zu erbringen. Um für das neu zu entwickelnde Implantat keine fertigungstechnischen Kompromisse eingehen zu müssen, wurde der Ansatz verfolgt, das generative Fertigungsverfahren Laserstrahlschmelzen für die Herstellung des topologieoptimierten Implantat-Kernbereiches einzusetzen, um die notwendige Stabilität mit der Geometriefreiheit ideal zu kombinieren.

Autoren: Dr. Bernhard Müller, Thomas Rädels



Halsmodul aus dem Werkstoff TiAl6V4 (© Fraunhofer IWU)

Kontakt:

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Dr. Bernhard Müller

Telefon: +49 351 4772 2136

E-Mail: bernhard.mueller@iwu.fraunhofer.de

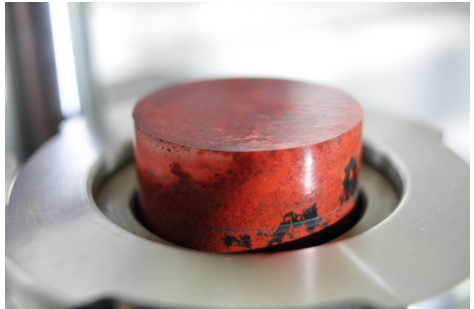
Laserbasierte additive Fertigung – Chancen und Risiken

Laserbasierte additive Fertigung bietet in Folge des schichtweisen Aufbaus von Bauteilen aus pulverförmigen Ausgangsmaterialien große Vorteile. Dies schließt beispielsweise das Leichtbaupotenzial ein. Optimierungsbedarf besteht jedoch noch hinsichtlich der Fähigkeit zur Multimaterialverarbeitung.

Gleichzeitig muss zum Einsatz dieser Verfahren, aufgrund des pulverförmigen Ausgangswerkstoffes, ein geeignetes Arbeitssicherheitskonzept gelebt werden. Laserbasierte additive Fertigung bietet verfahrensbedingt große konstruktive Freiheiten, so dass es möglich ist, komplexe Strukturen zu fertigen, die mit konventionellen Verfahren nur mit großem Aufwand herstellbar sind. Dies beinhaltet beispielsweise Bauteilformen, die sich aus rechnergestützten Leichtbauoptimierungen ergeben.

Grundlagen

Bei additiven Fertigungsverfahren werden Bauteile sukzessive aus einzelnen Schichten aufgebaut. Im AMLab – Laboratory for Additive Manufacturing in Augsburg liegt der Fokus auf pulverbettbasierten Verfahren wie dem Laserstrahlschmelzen. Dabei wird zunächst mithilfe eines Rakels oder einer Walze eine gleichmäßige Pulverschicht aufgetragen. In einem zweiten Schritt wird diese selektiv mithilfe eines Lasers verfestigt. Anschließend wird erneut eine Pulverschicht aufgebracht. Diese Einzelschritte wiederho-



Pulveranalyse für den LBM Prozess
(© Fraunhofer IWU, Augsburg)

len sich so lange, bis das Bauteil vollständig aufgebaut ist.

Multimaterial

Im Bereich des Laserstrahlschmelzens ist es derzeit noch nicht möglich, Multimaterial-Bauteile herzustellen. Durch bereits abgeschlossene Forschungsarbeit ist es zwar möglich, Beschichtungen mit einem zweiten Material im Pulverbett zu erzeugen, jedoch können keine 3-dimensionalen Multimaterialbauteile gefertigt werden. Im Rahmen des BFS-Forschungsprojektes ForNextGen soll dies realisiert werden. Hierzu werden zunächst verschiedene Konzepte erarbeitet, die auf unterschiedlichsten physikalischen Prinzipien beruhen. Beispielhaft seien hier die Elektrostatik und die Aerodynamik genannt. Diese werden derzeit in Voruntersuchungen getestet. Auf dieser Grundlage wird ein Mechanismus ausgewählt und in eine bestehende Laserstrahlanlage integriert. Ziel ist es, Bauteile herzustellen, die ideal den

LASERBASIERTE ADDITIVE FERTIGUNG

Einsatzbestimmungen entsprechen, indem lokal angepasste Werkstoffe eingesetzt werden. Dies hat nicht nur eine effizientere Nutzung der einzelnen Komponenten bei der Fertigung zur Folge, sondern kann auch nachgelagerte Prozessschritte verbessern. So können beispielsweise Zykluszeiten von Spritzgussbauteilen verkürzt werden, wenn bei der additiven Herstellung des Werkzeugs ein Kupferwerkstoff zur Optimierung des Wärmeabtransports und ein Werkzeugstahl zur Erhöhung der Standzeit eingesetzt werden.

Sicherheit

Neben den Vorteilen aufgrund der gestalterischen Freiheiten ergeben sich als Folge des pulverförmigen Ausgangsmaterials einige Gefahren, die bei der Nutzung von additiven Fertigungsverfahren unbedingt beachtet werden müssen. Um Bauteile fertigen zu können, ist es notwendig, Pulver mit einer durchschnittlichen Korngröße von etwa 20 – 50 µm einzusetzen. Zwar ist hier der Großteil der Pulverfraktion nicht gesundheitsschädlich, jedoch ist ein kleiner Teil einer jeden Pulvercharge alveolengängig, d.h. im Bereich von < 5 µm. Ein weiterer kritischer Aspekt, der sich durch den Ausgangszustand ergibt, ist die erhöhte Explosionsgefahr. Diese ist besonders bei reaktiven Metallpulvern, wie bei Aluminiumlegierungen, gegeben. Aus diesem Grund muss vor allem bei der Vorbereitung der Bauvorhaben sowie beim Ausbau fertiger Bauteile mit besonde-

rer Vorsicht gearbeitet werden.

Daher lässt sich zusammenfassen, dass die Arbeiten des AMLab darauf ausgerichtet sind, designoptimierte Multimaterialbauteile mit einem hohen Maß an Arbeitssicherheit zu fertigen.

Kontakt:

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Projektgruppe Ressourceneffiziente mechanische Verarbeitungsmaschinen RMV

Dipl.-Ing. Christian Seidel

M.Sc. Christine Anstätt

Telefon: +49 821 56883 45

E-Mail: christine.anstaett@iwu.fraunhofer.de

The challenge of regenerating articular cartilage

Because of the lack of circulation articular cartilage has no access to regenerative cell populations. Cartilage damage is therefore close to irreversible and frequently results in progressive destruction of the joint affected. One promising therapy is matrix-associated autologous chondrocyte transplantation (MACT), in which a suitable material (matrix) is seeded with the patient's cartilage cells (chondrocytes) and then implanted into the damaged cartilage. However, the cultivation of the chondrocytes of the generally used collagen-based matrices can lead to dedifferentiation, i.e. a loss of cellular function.

Reproduction of tissues by modifying natural tissue components

In order to preserve the function of chondrocytes it seems highly significant to create a reproduction of the native extracellular matrix (ECM) that is as natural as possible. Articular cartilage has outstanding properties in regard to strength and water content. These are due to the composition of its ECM, of collagen fibers and hydrophilic polysaccharide units (glucosaminoglycans). In order to represent cartilage-like hydrogel systems, researchers at the Fraunhofer IGB modified biological molecules of the natural ECM by means of a chemical reaction with methacrylic acid, thereby making crosslinking possible. A two-component system made of gelatin (denatured collagen) and chondroitin sulphate (glucosaminoglycan) can thereby be chemically crosslinked into ECM-mimicking hydrogels in a controlled way. By varying the degree of crosslinking and solid content we were able to produce gelatin hydrogels with strengths of about 5 kPa to 370 kPa. This approximately corresponds to the strength of soft fatty tissue and nasal cartilage, respectively ^[1]. The integration of chondroitin sulphate enables the swelling ability of the matrices to continue being increased, while retaining their strength. Thus we could improve the hydrogel properties and increase the similarity to native articular cartilage.

Stabilization of chondrocytes: the right matrix composition provides biofunctionality

A distinct effect of the composition of the hydrogel on the morphology and proliferative behavior of the cells was found during the encapsulation of chondrocytes in three-dimensional hybrid hydrogels. By contrast with hydrogels containing collagen or pure gelatin, chondrocytes in hydrogels containing chondroitin sulphate showed a cell type-specific spherical morphology and low cell division activity. Our biomimetic hydrogels, which imitate the natural cartilage environment, therefore represent a promising 3D system for the construction of replacement cartilage tissue.

BIOARTIFICIAL CARTILAGE

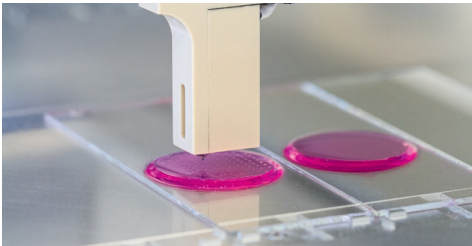
Cell matrix systems as bio-inks to print tissues

Like many other native tissues, hyaline cartilage has a characteristic micro- and macro-structure. For example, the content of proteoglycans continually increases from the joint line to the bone. Also, there are zones with high cell density as well as cell-free zones. Precise dosing techniques are necessary to be able to reconstruct the internal structures of tissues; inkjet printing is one such technique. In order to make the material systems presented here suitable for inkjet printing, the gelling characteristics of the biomolecule solution must be well-controlled prior to crosslinking and the viscosity must be kept low. The twofold modification of the biomolecules, with crosslinking groups on one hand and with additional non-crosslinking units on the other, enables the properties of the non-crosslinked solutions and those of the crosslinked hydrogels to be adjusted independently. It is thereby possible to print chondrocytes in the gelatin-based »bio-inks« onto suitable substrates using inkjet printing ^[2].

Biomimetic biomaterials: a model for the future

The material systems shown here therefore have three properties that especially qualify them for constructing functional tissue models:

- (1) They are based on natural extracellular matrix biomolecules,
- (2) They can be adjusted to the mechanical properties of various tissues.
- (3) They can be made into the desired structures using additive digital process such as 3D printing, ^[3]. This means they have great future potential to contribute to the construction of functional tissue-replacement materials.



Inkjet-printing of gelatin-based bio-ink containing chondrocytes (© Fraunhofer IGB)

Contact: Fraunhofer IGB

Dr. Kirsten Borchers

Phone +49 711 970 4121

E-Mail: kirsten.borchers@igb.fraunhofer.de

References

- [1] Hoch, E.; Schuh, C.; Hirth, T.; Tovar, G. E. M.; Borchers, K. (2012) Stiff gelatin hydrogels can be photo-chemically synthesized from low viscous gelatin solutions using molecularly functionalized gelatin with a high degree of methacrylation, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 23: 2607–2617
- [2] Hoch, E.; Hirth, T.; Tovar, G. E. M.; Borchers, K. (2013) Chemical tailoring of gelatin to adjust its chemical and physical properties for functional bioprinting, *Journal of Materials Chemistry B. The Royal Society of Chemistry* 1: 5675–5685
- [3] Engelhardt, S.; Hoch, E.; Borchers, K.; Meyer, W.; Krüger, H.; Tovar, G. E. M.; Gillner, A. (2011) Fabrication of 2D protein microstructures and 3D polymer-protein hybrid microstructures by two-photon polymerization, *Biofabrication* 3: 025003

3D Printed food packaging to ease the environmental impact

Sustainability is certainly a topic being more and more discussed in the realm of 3D-printing as well. 3D-printing has the potential »to do things right the first time« while in the process of transferring from a prototype technology to an industrial one in the years to come.

To support these efforts a consortium of IKT of University of Stuttgart, BIOPRO Baden-Württemberg GmbH and Fraunhofer IPA formed for the BioFabNet project – funded by Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) and its BioIndustrie 2021 program.

BioFabNet is aiming to broaden the availability of bio-based materials for 3D-printing (FDM/FLM). The focus of BioFabNet was to make bio-based filaments available to end-users and consumers in order to reduce the environmental impact of 3D-printing plastics. While the project is being completed; the next vision of material development and evaluation is already on the horizon.

Considering one of the research activities of evaluating and processing bio-degradable and alternative materials for additive manufacturing technologies, the research group around Steve Rommel from Fraunhofer IPA is currently supporting the start-up of Julian Reitze and Stefan Zender from University of Stuttgart in their efforts to develop the next generation of coffee capsules.



3D printed coffee capsules (© Fraunhofer IPA)

FOOD PACKAGING

The general goal of this start-up is to reduce environmental problems caused by food packaging by finding alternatives - ideally bio-degradable ones. In their search for applications the start-up identified the market of the coffee capsules as their first »attack field«. Their goal is to use bio-based plastics to replace the aluminum coffee capsules. In order to reach this goal Fraunhofer IPA is supporting them in a first step of designing and building capsules prototypes. While utilizing the standard materials of SLS and FDM 3D-printing in the first phase, the next test goal is to try bio-based plastics for building the first coffee capsules. If successful the idea is to build a conventional injection molding tool for higher volumes, but to also offer the option of 3D-printing specialized capsules for new and futures short term demands.

This is one example of the cooperation of Start-up from university and research facilities in a common goal and utilizing their strengths. In this project the researchers give access to equipment, support and know-how to this start-up and therefore making their experience available. In return the researchers discuss future topics with future entrepreneurs and customers and gain input for developing their research topics and strategy.

Contact:

Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation IPA
Raphael Geiger, Steve Rommel
Phone: +49 711 970 1859
E-Mail: raphael.geiger@ipa.fraunhofer.de

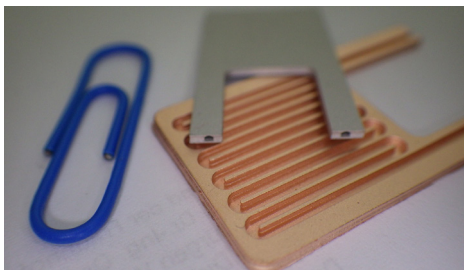
Start-up

Stefan Zender / Julian Reitze
E-Mail: rzk_projekt@outlook.de

Neues Druckverfahren in Dresden

Am Fraunhofer IFAM wurde der massentaugliche 3D-Siebdruck nun um den verwandten 3D-Schablonendruck ergänzt. Klassischer Schablonendruck wird bereits industriell zum Druck von Lötpasten verwendet. In der neuen dreidimensionalen Variante werden nun Multischichtsysteme übereinander gedruckt und damit dreidimensionale Strukturen erzeugt. Die nutzbaren Werkstoffe können hierbei frei im Bereich der metallischen und keramischen Werkstoffe gewählt und ggf. kombiniert werden.

Im Unterschied zum Siebdruck werden statt des Drucksiebes 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 bisher erreichten Lagedicke von über 200 µm kann die bereits sehr hohe Baurate des 3D-Siebdrucks von



Gedruckter Wärmeübertrager mittels Sieb- oder Schablonendruck als offene (Kupfer) und geschlossene (Stahl) Variante. Beide Verfahren ermöglichen komplexe Innenkanäle ohne Stützstruktur. (© Fraunhofer IFAM DD)

120 cm³/h auf über 1500 cm³/h gesteigert werden. Weiterhin erlaubt das Verfahren die Herstellung von Brücken von über 2-3 mm ohne die bei Pulverbettverfahren übliche Stützstruktur, sodass bisher nicht vorstellbare Bauteile realisiert werden können.

Kontakt:

Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Institutsteil Dresden
Dr. Burghardt Klöden
Telefon: +49 351 2537 384
burghardt.kloeden@ifam-dd.fraunhofer.de

SLS für kundenindividuelle Fußbekleidung

Diabetes alleine hat das Potenzial das deutsche Gesundheitssystem zu sprengen. Bereits jetzt werden 20 % des Budgets im deutschen Gesundheitssystem für die Behandlung von Diabetes und den damit assoziierten Folgeerkrankungen aufgewendet. Da die Zahl der Erkrankten weiter zunehmen wird, ist hier mit steigenden Kosten zu rechnen. Bereits 2009 lagen die direkten Kosten von Diabetes in Deutschland bei 48,2 Mrd. €. Also etwa 50 % über dem deutschen Verteidigungshaushalt bzw. annähernd an den Zinszahlungen für die nationalen Schulden. Aus diesen Gründen werden händiger Möglichkeiten zur Kosteneinsparung gesucht.

INDIVIDUELLE FUSSBEKLEIDUNG

Diesem Thema widmen sich das Fraunhofer IWM und das Fraunhofer UMSICHT in einem neuen BMBF-geförderten Projekt »Lasergestützter Aufbau kundenindividueller Fußbekleidung – LauF«. Durch neue Materialinnovationen im Bereich thermoplastischer Polyurethane (TPU) für das selektive Lasersintern (SLS) werden erstmalig elastomere Materialeigenschaften möglich, wie sie für orthopädische Schuheinlagen benötigt werden. In diesem Projekt soll entlang der Wertschöpfungskette gearbeitet werden: von der Materialentwicklung über die Fertigung bei der rpm GmbH und Sintermask bis hin zur Erfassung dreidimensionaler Körper durch die Explus GmbH und die Anwendung im Orthopädieschuhwerk bei der IETEC Orthopädische Einlagen GmbH. Das Ziel für die Anwendung ist eine komplett digitale Fertigungskette, von der Erfassung der Situation am Patientenfuß, über die Auslegung bis hin zur Fertigung. Dies ermöglicht eine vereinfachte Qualitätssicherung, eine vereinfachte Anpassung bei Patientenbeschwerden und eine Wiederholbarkeit und Rückverfolgbarkeit für wissenschaftliche Untersuchungen zur Wirksamkeit verschiedener Ansätze. Für die digitale Auslegung entwickelt das Fraunhofer IWM eine Software, die Strukturen einstellbarer Steifigkeit entwirft. Dies ermöglicht der IETEC GmbH die präzise Auslegung von Einlagen am Computer unter Berücksichtigung der patientenspezifischen Fußgeometrie und der krankheitstypischen Fehlstellungen und Belastungen. Das Fraun-

hofer UMSICHT arbeitet an der Entwicklung neuer Dosierverfahren für das selektive Lasersintern und der Entwicklung neuer TPU-Typen.

Das Projekt ist im März 2015 gestartet und läuft drei Jahre.

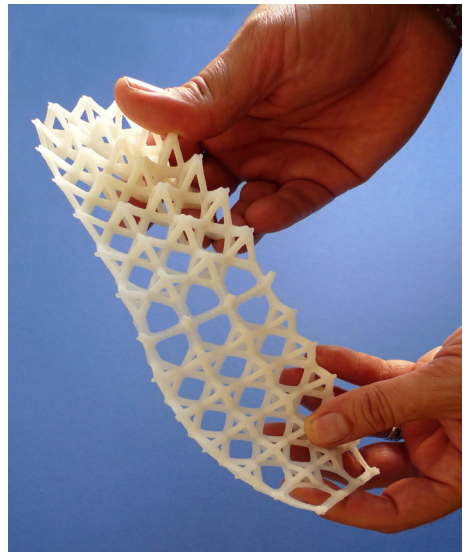
Kontakt:

Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik
IWM

Dr. Tobias Ziegler

Telefon: +49 761 5142 367

E-Mail: tobias.ziegler@iwm.fraunhofer.de



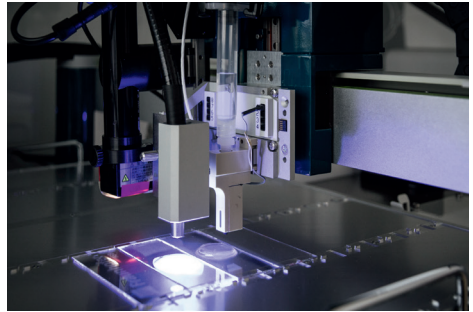
Beispiel für eine elastische Einlegesohle aus verschiedenen Elementen unterschiedlicher Steifigkeit (© Fraunhofer IWM)

Fraunhofer Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

The Fraunhofer IGB is one of 66 institutes and independent research units of the Fraunhofer-Gesellschaft, Europe's leading organization for applied research. The Fraunhofer IGB develops and optimizes processes and products in the fields of medicine, pharmacy, chemistry, the environment and energy. We combine the highest scientific standards with professional expertise in our competence areas – always with a view to economic efficiency and sustainability. Our strengths are offering complete solutions from the laboratory to the pilot scale. The constructive interplay of the various disciplines at our institute opens up new approaches in areas such as medical engineering, nanotechnology, industrial biotechnology, and environmental technology. We are aiming at the development of biotechnological (fermentative or biocatalytic) processes for the production of chemicals and fuels from renewable resources, biogenic residues or microalgae, and the coupling of these with chemical processes. The Fraunhofer Center for Chemical-Biotechnological Processes CBP in Leuna offers new ways of transferring the use of renewable raw materials to an industrial scale. Another field of action are functional surfaces and materials. By the decoupling of volume and surface proper-

ties of materials through interfacial process engineering, new possibilities result as to the base materials of workpieces and thus for new products based on a selection of sustainable raw materials. Fraunhofer IGB develops new functional materials for use in additive manufacturing processes.



*Bioprinting and crosslinking of a modified biopolymer with cells by a Bioplotter
(© Fraunhofer IGB)*

Bioprinting

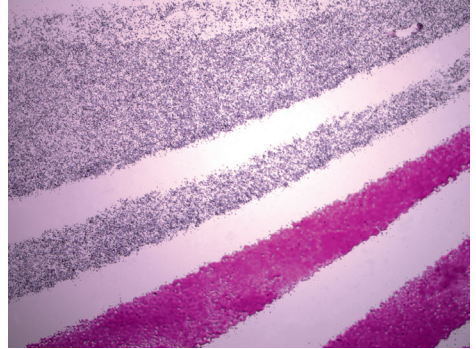
Bioprinting – just as 3D-printing – summarizes the use of material transfer processes for patterning and assembling biological and biologically relevant materials, molecules, cells, tissues, and biomaterials to accomplish biologically functional constructs. The most frequently used additive manufacturing techniques for bioprinting applications are inkjet printing, dispensing, and stereolithography, which require inks of various viscosities, crosslinking potential. Fraunhofer IGB is developing so-called bioinks for from bio-compatible polymers, and biological molecules from the natural tissue matrix and cells for the reconstruction of biological tissues. By

NEW MEMBER INSTITUTE - FRAUNHOFER IGB

tailored chemical synthesis and biomolecule modification we adapt the viscosity and gelling behavior of inks to different additive manufacturing processes. The properties of the crosslinked hydrogels are adjusted to the properties of native tissue matrices by formulation of extracellular matrix (ECM), like biomolecule blends and control of the cross-linking density. Inks are based for example on photo-crosslinkable gelatin, hyaluronic acid, chondroitin sulfate or heparin with various cell types added such as mesenchymal stem cells, chondrocytes (cartilage), and endothelial cells. Alternatively, cytocompatible synthetic inks based on polyethylene-glycol-derivates are developed. Such IGB bioinks are suitable for constituting biomimetic matrices with adjustable properties for engineering complex tissue models, for instance articular cartilage.

Electrospinning

Electrospinning is an attractive method to generate fibrous and porous matrices with a high surface area for regenerative medicine applications. By applying high voltage, the droplet adopts a conical shape, and as soon as the electrical field strength exceeds the surface tension, a thin fiber develops. Due to equal charges, instabilities occur and the fiber travels in spinning motions to the collector, the solvent evaporates and a solid fibrous network is generated. Depending on the collector shape, different scaffold types can be obtained. Our main focus at Fraun-



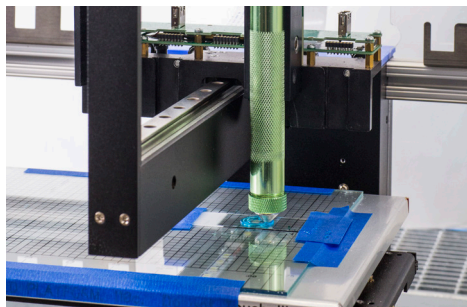
Several electro photographically printed layers of functionalized toner particles (© Fraunhofer IGB)

hofer IGB is to utilize natural extracellular matrix (ECM) proteins and generate matrices that can serve as scaffolds for regenerative medicine purposes, and cell culture inserts for in vitro test systems. To manufacture these ECM mimicking substrates, we employ electrospinning in order to generate defined fibers and pores.

Fused deposition modeling

By Fused Deposition Modeling (FDM), thermoplastic materials can be processed into three-dimensional (3D) objects in a three-step procedure involving computer-aided design (CAD), slicing of the digital object into layers and subsequent layer-by-layer deposition of the material through a heated print head. Materials which can be processed by FDM are polymers like acrylonitrile butadiene styrene copolymers (ABS), polylactic acid (PLA) or polyamides such as Nylon. At the Fraunhofer IGB, FDM is combined with other extruder based printing techniques such as robotic dispensing in order to extend the

range of processible materials. For example, FDM based constructs can be used as support materials for the softer materials used in bioprinting.



Fused deposition modeling of a hydrogel
(© Fraunhofer IGB)

Reactive inkjet printing

At the Fraunhofer IGB we develop inkjet-suitable inks for coating surfaces and bottom up manufactured porous structures with materials such as pre-polymers, polymers, metals, organic-, inorganic- or active substance-loaded, degradable particles. The high-precision inkjet printer DMP 3000 (Fujifilm Dimatix, USA) is available to produce functional layers with resolutions in the micrometer range. The focus of our research lays on the development of click- and isocyanate chemistry based materials and processes therefore. Recently, we are heading towards the production of micro-scale polyurethane foams prepared in situ on the substrate using reactive inkjet printing of the corresponding compounds. The obtained porous structured materials are of interest for a variety of applications such as absorber

materials, support materials for chemo- and biocatalysis or as 3D-carriers for cells and microorganisms.

Three-dimensional electrophotography

Electrophotography has emerged to one of the leading digital printing technologies in graphic arts. The process is also known under the common names of xerography and laser printing. The procedure allows for the individual alignment of multiple different colors with a high spatial resolution on a paper substrate. Yet, the printing technology is currently limited to a few two-dimensional applications, although its large solid content also complies well with the requirements for a rapid construction of three-dimensional objects. For this purpose, a different three-dimensional fusing technique is currently being investigated. It is based on the creation of covalent bonds at the particles' surface during a sintering procedure and diminish the necessity for the distortive melting step at high temperatures. We are developing surface functionalized and cytocompatible toner particles (amorphous (meth)acrylic particles, e.g.) for a 3D electro photographic printing process.

Contact:

Dr. Achim Weber

Fraunhofer Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology IGB

Phone: +49 711 970 4022

E-Mail: achim.weber@igb.fraunhofer.de

NEW MEMBER INSTITUTE - FRAUNHOFER EMI

Fraunhofer EMI – certainly safe and sustainably secure

Fraunhofer EMI – mit Sicherheit nachhaltig – nachhaltig sicher

The Ernst-Mach-Institut (Fraunhofer Institute for High-Speed Dynamics, EMI) studies material behavior in dynamic processes by experiment, modeling and simulation. We analyze high-speed processes from a physical and engineering perspective and develop solutions for industrial applications.

We consider the aspects reliability, efficiency, sustainability, resilience and safety of structures, components and systems under highly dynamic and extraordinary loads.

We analyze phenomena of dynamic loads in microstructures as well as in complex systems like crash, impact and shock-wave

phenomena.

Our applications range from component optimization and design of structures to research on entire vehicle and technology systems, from buildings, infrastructures and urban systems to networks and satellite systems.

Having extensive experience in the field of material and component testing with sophisticated diagnostic techniques from high-speed video cameras to micro-Xray computer tomography, experience in material characterization und modeling as well as numerical simulation and optimization, we decided to complement our offer to customers with our expertise in transferring numerical solutions for optimized design into real parts and components by 3D-printing.

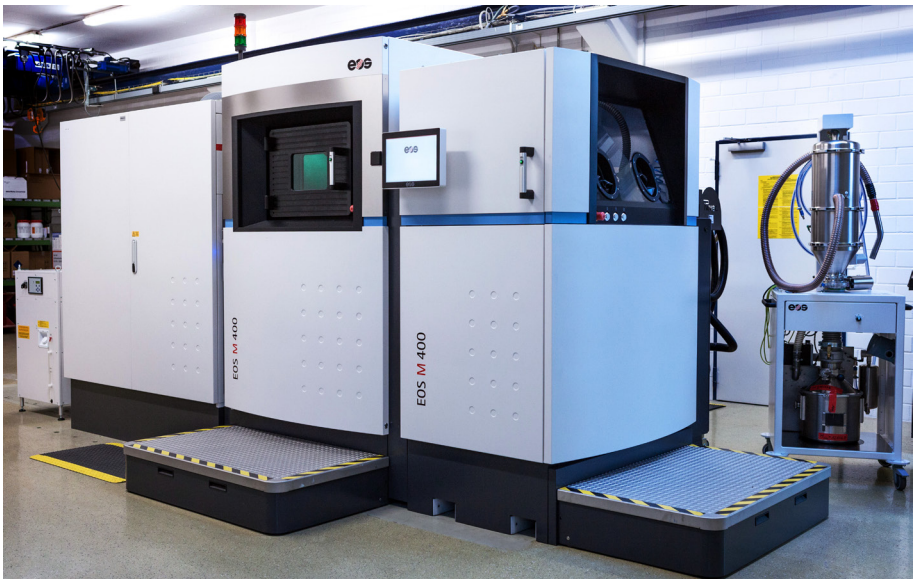


Full vehicle crash plant at EMI's laboratory location in Efringen-Kirchen (© Fraunhofer EMI)

NEW MEMBER INSTITUTE - FRAUNHOFER EMI

Thus, we established a 3D-manufacturing laboratory for additive manufacturing of large metal components in 2015. Fraunhofer EMI's direct metal laser sintering system enables – according to current standards – additive manufacturing of large metal components with a design space of 400 x 400 x 400 mm³.

Complementary dynamic tests and diagnostic techniques enable EMI to specify and benchmark functional requirements, characterize material behavior and quality criteria. In-house 3D-printed design solutions can be tested, analyzed and optimized iteratively. Thus we can offer a custom-tailored innovation cycle for parts or components.



EMI's large metal 3D-laser sintering system for additive manufacturing of metal structures of up to 400 x 400 x 400 mm³ (© Fraunhofer EMI)

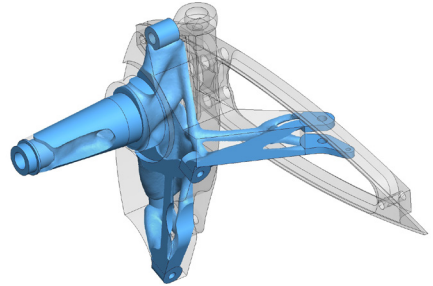
Additive design optimization of lightweight structures under dynamic and extraordinary loads

3D-printing technologies are especially suited for lightweight design since according to functional requirements, unnecessary structural material may just not be generated. A lightweight design is considered optimized if material is only generated at those areas where it is needed to carry the functional loads. Additive manufacturing techniques allow doing exactly that. If load requirements can be determined and quantified, and if suited material models for the construction material are available, numerical optimization simulation can be used to

NEW MEMBER INSTITUTE - FRAUNHOFER EMI

compute the optimum geometrical shape for the structural design.

Fraunhofer EMI engages in establishing design rules for the application of additive manufacturing technologies – especially in respect of the extreme dynamic load requirements in crash or impact-related applications. In this way, manufacturing-related constraints like part orientation, support structures and process parameters are linked to material modeling and component testing to support computer aided product development. Additional functional requirements for the component can also be included in the process of the numerical design optimization, e.g. aspects of heat conduction. Hence, Fraunhofer EMI can offer a unique in-house product development and optimization cycle for large metal components by additive manufacturing relying on highly instrumented dynamic testing an optimization by numerical simulation.



*Structural optimization by numerical simulation
(© Fraunhofer EMI)*



*Structural optimization by numerical simulation
(© Fraunhofer EMI)*

Contact:

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

Telefon: +49 761 2714 446

E-Mail: klaus.hoschke@emi.fraunhofer.de

STUDENT DESIGN & ENGINEERING AWARD



Gewinner des Student Design & Engineering Award (© Messe Erfurt)

Dreifachsieg für generativen Nachwuchs

Der »STUDENT DESIGN & ENGINEERING AWARD for Rapid Manufacturing«, der im Rahmen der Fachmesse für Anwender und Entwickler generativer Fertigungstechnologien Rapid.Tech 2015 bereits zum neunten Mal ausgelobt wurde, prämiert Arbeiten von Studierenden im Bereich der generativen Fertigung. Dabei sollen sich die Teilnehmer mit Individualisierungsmöglichkeiten von Produkten im Rahmen von Rapid-Manufacturing-Verfahren, im allgemeinen Sprachgebrauch als 3D-Druck bekannt, auseinandersetzen. Dieser Preis bietet die Chance, seitens der Industrie Interesse zu wecken und Kontakte zu knüpfen. Sieger auf allen drei Plätzen waren in diesem Jahr Studenten aus den Mitgliedsinstituten der Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung – ein Netzwerk aus 15 Fraunhofer-Instituten, die auf dem Gebiet der generati-

ven Fertigung forschen. Die NachwuchswissenschaftlerInnen konnten die internationale Jury mit ihren Designkonzepten für optimale energetische Nutzung überzeugen.

1. Preis: »Cooling with Heat« - Ein Konzept zur effizienten Wärmeableitung

J. Deitschun, M. Gralow, L. Heemann, S. Kalka, D. Knoop (Fraunhofer IFAM, Bremen)
»Cooling With Heat« – so lautet die Entwicklung einer neuartigen Prozesskühlung, die ohne zusätzlichen Strom funktioniert. Fünf Masterstudenten des Studiengangs Produktionstechnik der Universität Bremen haben am Fraunhofer IFAM erforscht, wie aus Abwärme ausreichend Strom erzeugt werden kann, um eine Kühleinheit mit Wärmerohren (Heat pipes) und Ventilator zu versorgen. Das Design des Objektes, welches auf bionische Ansätze zurückgreift sowie das natürliche Gestaltungsprinzip eines Baumes mit Zwei-

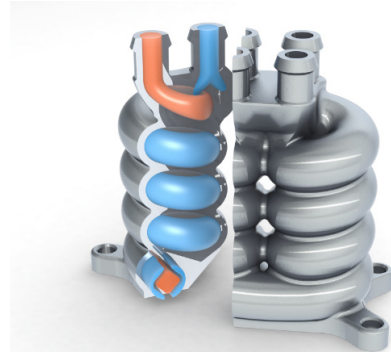
STUDENT DESIGN & ENGINEERING AWARD

gen, fanden großen Anklang bei der Jury in Erfurt. Ob Gefriergeräte, Serverschränke oder Computer – alle Geräte benötigen für die Wärmeabfuhr ihrer Prozessoren Kühlleinheiten, die die entstehende Abwärme über Kühlrippen an die Umgebungsluft abgeben. Zusätzlich erzeugen meist Ventilatoren einen Luftstrom zwischen den Kühlrippen, sodass die Wärme schneller abtransportiert werden kann. Die Grundidee hinter der entwickelten Kühlleinheit ist, einen Teil der Abwärme der Geräte zu nutzen, um daraus Strom zu erzeugen und damit einen Ventilator zu betreiben. Gleichzeitig konstruierten die jungen Wissenschaftler einzigartige Kühlrippen mit besonders hoher Oberfläche auf kleinstem Raum. Umgesetzt wurde diese Idee mit einem generativen Fertigungsverfahren.



Querschnittsdarstellung der Heat pipes (Gitterabstand $100\ \mu\text{m}$ bei $20\ \mu\text{m}$ Schichtdicke). Links: Heat pipe-Aufbau mit Innenstruktur, rechts: Aufbau mit Außenstruktur (© Fraunhofer IFAM/Dagmar Fischer)

2. Preis: »Strukturoptimierter Wärmetauscher« K. Böll (Fraunhofer IWU, Dresden)



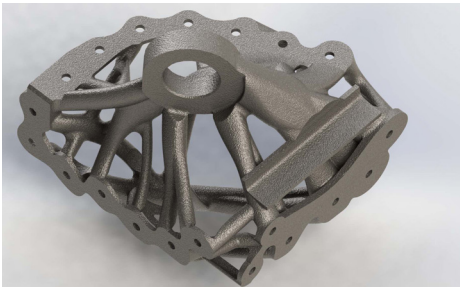
Generativ gefertigter und strömungsoptimierter Wärmeaustauscher (© Fraunhofer IWU)

Kilian Böll, der an der TU Dresden Maschinenbau studiert, wurde für sein Design eines optimierten Wärmetauschers prämiert. Vorteil des generativen Bauteils ist u. a. ein niedrigerer Druckverlust durch den fließend gestalteten Kanalverlauf im Inneren des Wärmetauschers. Diese Bauweise ermöglicht es, kleinere Pumpen zu verwenden, die effektiver und letztendlich als kompaktes Gesamtsystem über den Gesamtlebenszyklus kostengünstiger sind. Für eine möglichst gute Energieübertragung wurde der Wärmetauscher generativ aus Aluminium gefertigt. Bei der Formgebung des Wärmetauschers wurden neben einer hohen Wärmeübertragung und geringem Druckverlust auch die Besonderheiten der generativen Fertigung berücksichtigt. Durch verrundete Übergänge, angepasste Winkel bei schrägen Flächen und gezielte Verstreibungen konnte man auf

STUDENT DESIGN & ENGINEERING AWARD

die für die generative Fertigung typischen Stützstrukturen verzichten. Die Nacharbeit des Bauteils kann somit auf ein Minimum reduziert werden. In Zukunft könnten diese Wärmetauscher in den Bereichen Mikroverfahrenstechnik der chemischen und pharmazeutischen Industrie, Fahrzeugbau sowie der Luft- und Raumfahrt Anwendung finden.

3. Preis: »Topologieoptimierung« M. Süß (Fraunhofer IFAM, Dresden)



Optimiertes Bauteil »MG Bracket rear« (Demonstrator) (© Fraunhofer IFAM)

Hauptinhalt war die konstruktive Verbesserung eines Schlüsselements im Helikoptergetriebe durch die Optimierung der Topologie. Dabei gelang es Michael Süß nicht nur, das Gewicht des sogenannten »MG Bracket rear« um knapp 40 % zu verringern, sondern auch die Zusammenführung der vorher einzelnen Bauteile zu ermöglichen. Bisher wurden die Ausgangsbaueteile aus verschraubten Guss- bzw. Frästeilen gefertigt. Aufgrund der komplexen Struktur der Komponente sowie der gleichzeitigen Verbindung von zwei Teilen ist die Fertigung

der jetzigen Bauteilgruppe nur mit einem additiven Verfahren möglich und stellt einen erheblichen Fortschritt im Vergleich zum bisherigen Stand der Technik dar. Für die Fertigung nutzte Herr Süß das additive Fertigungsverfahren Elektronenstrahlschmelzen, das sich durch die Kombination von hohen Bauraten und Dauerfestigkeiten auszeichnet. Mit der Auszeichnung für die Entwicklung des Demonstrators eröffnen sich vielversprechende Perspektiven, bis hin zu einem Serienprodukt, die Gegenstand zukünftiger F&E-Vorhaben sind.

Kontakt:

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung
Andrea Richter
Telefon: +49 371 5397 1471
geschaeftsstelle@generativ.fraunhofer.de

VERANSTALTUNGSHINWEIS

Workshop: Additive Fertigung mit flexiblen Prozessketten

Steigende Anforderungen an die Bauteil- und Prozessqualität in der additiven Fertigung erfordern den Einsatz optimal aufeinander abgestimmter Fertigungsverfahren. Nur unter Einsatz geeigneter Maschinenteknik und mit Hilfe flexibler Prozessketten ist eine effiziente Herstellung komplexer Strukturen und Bauteile möglich. In unserem Workshop stellen wir gemeinsam mit Herstellern und Anwendern die Potenziale additiver Technologien speziell auch für klein- und mittelständische Unternehmen vor. Expertinnen und Experten aus Industrie und Wissenschaft präsentieren u. a. neueste Entwicklungen im Bereich des Selective Laser Melting und des Laser-Pulver-Auftragschweißen und diskutieren Anwendungsszenarien für die Turbomaschinenindustrie, den Werkzeug- und Formenbau sowie für Maintenance, Repair and Overhaul (MRO).

Dabei konzentrieren wir uns auf konkrete Lösungen für die gesamte Prozesskette mit allen Vor- und Nachbearbeitungsschritten, inklusive der dreidimensionalen optischen Vermessung zur Qualitätssicherung. Darüber hinaus zeigen wir Lösungsmöglichkeiten auf, wie diese Prozessketten flexibel für individuell und komplex gestaltete Bauteile eingesetzt werden können.

Der Workshop wird von der Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung unterstützt. Profitieren auch Sie von der langjährigen Erfahrung der 15 Mitgliedsinstitute und nutzen Sie die Gelegenheit zum gemeinsamen Informations- und Erfahrungsaustausch und zur Diskussion konkreter Fragestellungen.

Termin: 03. Mai 2016

Beitrag: 320,- EURO

Veranstaltungsort

Produktionstechnisches Zentrum Berlin

Eine Veranstaltung für

Geschäftsführerinnen und Geschäftsführer sowie Entwicklungsleiterinnen und Entwicklungsleiter von Unternehmen der Turbomaschinenindustrie, Luft- und Raumfahrt und des Werkzeug und Formenbaus

Kontakt:

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK

Dipl.-Ing. Benjamin Graf

Telefon: +49 30 39006 374

E-Mail: benjamin.graf@ipk.fraunhofer.de



EIN THEMA – 15 INSTITUTE – EINE ALLIANZ

Fraunhofer IFAM | www.ifam.fraunhofer.de

Fraunhofer IFF | www.iff.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 IAO | www.iao.fraunhofer.de

Fraunhofer IGB | www.igb.fraunhofer.de

Fraunhofer IPT | www.ipt.fraunhofer.de

Fraunhofer IWM | www.iwm.fraunhofer.de

Fraunhofer IWU | www.iwu.fraunhofer.de

Fraunhofer IGD | www.igd.fraunhofer.de

Fraunhofer IWS | www.iws.fraunhofer.de

Fraunhofer EMI | www.emi.fraunhofer.de

Fraunhofer UMSICHT | www.umsicht.fraunhofer.de

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

www.generativ.fraunhofer.de

info@generativ.fraunhofer.de

Sprecher der Allianz

Dr.-Ing. Bernhard Müller

Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

c/o Fraunhofer IWU

Nöthnitzer Straße 44

01187 Dresden

Deutschland - Germany

Telefon +49 351 4772 2136

Titelbild: Koaxiale Pulverdüse (© Fraunhofer IWS)