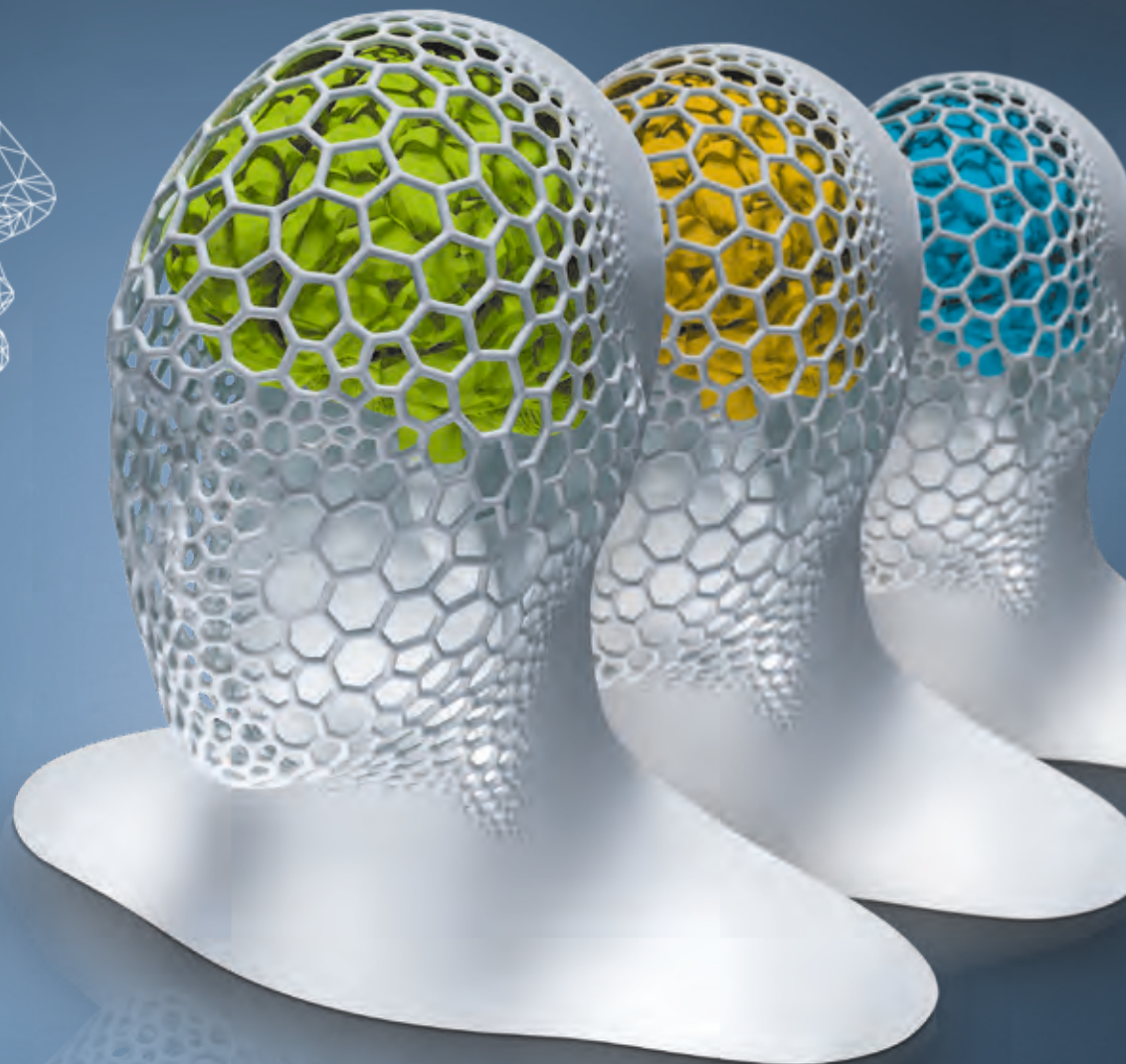




# Fraunhofer

## IAPT

FRAUNHOFER-EINRICHTUNG FÜR ADDITIVE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN IAPT



JAHRESBERICHT 2018 | 2019

## Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

eine der größten Herausforderungen unserer Zeit ist der effektive Umgang mit den Ressourcen, die uns auf der Welt zur Verfügung stehen. Hierzu gehören nicht nur die fossilen Brennstoffe, sondern auch Werkstoffe und Materialien. Eine ressourceneffiziente Fertigung ergibt sich z. B. durch den schichtweisen Auftrag von Werkstoffen bis hin zur Herstellung von ganzen Bauteilen. Zzt. werden Bauteile und Komponenten in der Regel durch wenig effektive abtragende Verfahren hergestellt.

Der ressourceneffizienten und autonomen Produktionsforschung widmet sich u. a. die neu gegründete Fraunhofer-Einrichtung für additive Produktionstechnologien IAPT, die im Jahr 2018 ihren Betrieb aufgenommen hat. Hervorgegangen ist das Institut aus dem Laser Zentrum Nord und dem iLAS der TUHH in Hamburg. Als sehr junges und noch kleines Institut waren die ersten zwei Jahre dem Aufbau und der Strukturierung des Fraunhofer IAPT und dem iLAS der TUHH gewidmet. Trotzdem sind in dieser Zeit bereits richtungweisende Ergebnisse entstanden.

Die additive Fertigungstechnik ermöglicht die Herstellung bionischer – der Natur nachempfunderer – Strukturen. Hierdurch werden ganz neue Funktionalitäten ermöglicht. Dies gilt nicht nur für den ressourceneffizienten Leichtbau, sondern auch für einen optimierten Wärmefluss, ein verbessertes Schwingungsverhalten und damit eine Geräuschreduzierung sowie die Integration von Sensoren und Leiterbahnen in die Bauteilstruktur. Mit der Entwicklung und Herstellung bionischer Strukturen haben sich bereits das LZN und das iLAS der TUHH seit vielen Jahren intensiv beschäftigt. Die Entwicklung bionischer Strukturen und deren additive Herstellung stellen nun Schwerpunkte der Arbeiten des Fraunhofer IAPT dar.


Mithilfe der additiven Fertigung entsteht zurzeit eine ganz neue Form der Produktionstechnik. Diese ist nicht nur für die Einzelteilfertigung von Bedeutung, sondern auch für die Serienfertigung. Sie stellt einen wichtigen Schritt in Richtung individualisierte Produktion dar. In besonderem Maße gilt dies auch für die Medizintechnik.

Das Fraunhofer IAPT widmet sich der Weiterentwicklung der additiven und autonomen Produktionstechnik. Neben dem bionischen Design hat sich das Fraunhofer IAPT auch die Digitalisierung, die Verfahrensoptimierung, die Entwicklung autonomer Systeme und den Einsatz künstlicher Intelligenz als Aufgaben gestellt. Einige Ergebnisse dürfen wir Ihnen auf den folgenden Seiten unseres Jahresberichts präsentieren.

Wir schauen sehr optimistisch in das Jahr 2020 und gehen davon aus, im nächsten Jahresbericht weitere neuartige Entwicklungen vorstellen zu können.



Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Ralf-Eckhard Beyer | Institutsleiter



Prof. Dr.-Ing. Claus Emmelmann | Institutsleiter



» Unser gemeinsames Ziel ist es, nicht nur additive, sondern bionisch innovative Produkte für eine nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit zu gestalten.«

» Wir entwickeln autonome, KI-basierte Produktionsabläufe mit einer automatisierten Dokumentation.«

## INSTITUT IM ÜBERBLICK

- 8 Leitbild
- 10 Kurzporträt Fraunhofer IAPT
- 12 Organigramm
- 14 Unsere Kernkompetenzen
- 24 Fraunhofer IAPT-Highlights
- 30 Das Institut in Zahlen
- 32 Das Kuratorium/Der Verbund Produktionstechnik
- 34 Kooperationen

## FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

- 42 Additive Smart Platform für effizienten »Change for Additive«
- 43 Bionisierung für maximalen Kundennutzen
- 44 Automatisierte Bionisierung von additiven »Diamanten«
- 45 Soft-Robotik durch additive Produktion
- 46 Innovatives »Tooling« mittels additiver Werkzeuge
- 47 Ersatzteile aus dem 3D-Drucker – innovative Ersatzteillogistik durch die additive Produktion
- 48 Hybrider 3D-Druck für profitable additive Automobilanwendungen
- 49 Flugsysteme aus dem 3D-Drucker
- 50 Bionic Aircraft
- 52 Profitable Pulverbett-Metallprozesse
- 53 Produktivitätssteigerung von LBM-Prozessen
- 54 Analyse der LBM-Topographie für die robuste additive Produktion
- 55 Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)
- 56 Innovativer Polymer-3D-Druck
- 58 Funktionsgerechte additive Polymere
- 59 Additive Metalle und »Finish«-Bearbeitung
- 60 Profitable DED Systeme durch hochpräzise Prozesssteuerung
- 61 Digitalisierte Automation von DED Prozessen
- 62 Smarte additive Fabriken
- 63 Additive Mobile Factory – One-Stop-Solution
- 64 ShipLight – innovatives Schiffdesign durch automatisiertes 3D-Laser-Hybridfügen
- 68 Qualitätssicherung und Zertifizierung
- 70 Additive Quality Manager
- 71 Ökologische Nachhaltigkeit durch additive Produktion

## LEHRTÄTIGKEITEN

- 74 Additive Ingenieurausbildung inkl. 3D-Labor
- 76 Schweißfachingenieur-Ausbildung
- 77 VDiNi-Club

## VERÖFFENTLICHUNGEN

- 80 Best Paper Award »27th CIRP Design Conference«
- 81 Promotionen und veröffentlichte Dissertationen

## VERANSTALTUNGEN

- 86 Fraunhofer IAPT 2018 | 2019



# INSTITUT IM ÜBERBLICK

8	Leitbild
10	Kurzporträt Fraunhofer IAPT
12	Organigramm
14	Unsere Kernkompetenzen
16	AM Design
18	AM Prozesse
19	AM Systeme
20	Medizintechnik
21	Laser und Großstrukturen
22	Additive Academy
24	Fraunhofer IAPT-Highlights
24	Bremsattel für Bugatti
26	Fraunhofer IAPT goes Mars
28	Auszeichnungen Mitarbeiter
30	Das Institut in Zahlen
32	Das Kuratorium/Der Verbund Produktionstechnik
34	Kooperationen
34	Additive Alliance
36	3D-Druck-Netzwerk
37	Mobility goes Additive
38	India Week
39	Aalberts Industries



## MISSION

»Unsere Mission ist es, die additive Produktion zu industrialisieren und dadurch die Produkte der Zukunft ressourcen- und energieeffizient zu gestalten.«



## VISION

»Wir sind erster Ansprechpartner für die Entwicklung industrieller und autonomer Lösungen in den additiven Produktionstechnologien.«



Das Fraunhofer IAPT verfügt über die unterschiedlichsten Technologien und Anlagen im Kontext der additiven Produktion und Lasertechnik. Je nach Bauteilanforderung können wir somit stets die geeignete Produktionstechnologie und die entsprechende Anlage auswählen. Dies gilt sowohl für den Metall- als auch für den Kunststoffbereich. Vom Laser Beam Melting (LBM) für filigrane medizinische Implantate über das Lichtbogenschweißen (WAAM) für Großstrukturen bis hin zum Laserhybridfügen von unterschiedlich hergestellten Bauteilen können wir jeweils geeignete Verfahren für Ihre Anforderung auswählen. Unser Portfolio an Technologien und Anlagen wird regelmäßig erweitert. Dabei haben wir den Anspruch, unseren Kunden technologieübergreifend und herstellerneutral die beste Lösung für ihre Anwendung zu bieten. Im Folgenden sind einige der Verfahren und Anlagen, die uns zur Verfügung stehen, aufgelistet.

## Pulverbettverfahren für Metalle

Das Fraunhofer IAPT arbeitet seit Jahren im Bereich der additiven Fertigung auf Basis von Metallpulvern. Ziel ist es, den Prozess schneller und robuster zu gestalten sowie jeden Arbeitsschritt nachvollziehbar dokumentieren zu können.

## Düse-/Drahtverfahren

Das Fraunhofer IAPT nutzt bei der düse- oder drahtbasierten additiven Fertigung zur Energieeinbringung in den Prozess sowohl Laser- als auch Lichtbogenverfahren. Beide Varianten unterliegen, wenn sie robotergeführt sind, nahezu keiner Bau-raumbeschränkung. Sie sind für eine kostengünstige Ersatz-teilfertigung sowie für Reparaturen sehr gut geeignet. In der Regel ist eine spanende Nachbearbeitung erforderlich.

## Laserstrahlverfahren

Das Fraunhofer IAPT beschäftigt sich seit vielen Jahren mit dem Laserstrahlfügen, -schneiden und -auftragen. Integrierte Lösungen sowie angepasste Bearbeitungssysteme mit Sensorik für die automatisierte Prozessführung und Qualitätssicherung

werden angeboten. Als Besonderheit steht eine 30 Meter lange Portalanlage zur Verfügung.

## Verfahren für Polymere und Nichtmetalle

Die Entwicklung bionischer Bauteilstrukturen sowie die Integration neuer Funktionen in Polymerbauteile stellt einen besonderen Schwerpunkt im Fraunhofer IAPT dar. Hervorzuheben ist die integrierte Umsetzung von elektrisch leitfähigen Bahnen in dreidimensional geformte Elektronikbauteile. Darüber hinaus werden neue Polymerwerkstoffe erprobt, die kosteneffizient verarbeitet werden können.

## Finishing

Die mit additiven Fertigungsverfahren direkt erzielten Oberflächenqualitäten bedürfen meist eines glättenden Postprozesses. Je nach Anforderung der Bauteile kann am Fraunhofer IAPT das Finishing durch eine strahlende Nachbearbeitung, aber auch durch Fräsen, Schleifen bzw. Trowalisieren oder durch Elektropolieren erfolgen. Am Fraunhofer IAPT wird das Finishing bauteilbezogen optimiert.

## Bionisches Design

Ein Kernaspekt für den erfolgreichen Einsatz der additiven Fertigung ist das Umsetzen neuer Produktdesigns. Das Fraunhofer IAPT erforscht und entwickelt hierzu neue cloud-basierte Optimierungsalgorithmen. Dabei ist unter Berücksichtigung der Fertigungsrestriktionen die simultane Optimierung unterschiedlicher technischer Eigenschaften möglich. Ein Schwerpunkt am Fraunhofer IAPT sind bionisch basierte Bauteildesigns. Hierdurch sind ressourcenschonende leichtbau-optimierte Bauteilentwicklungen sowie ein wärme- oder schwingungsoptimiertes Bauteildesign möglich.

## Medizintechnik

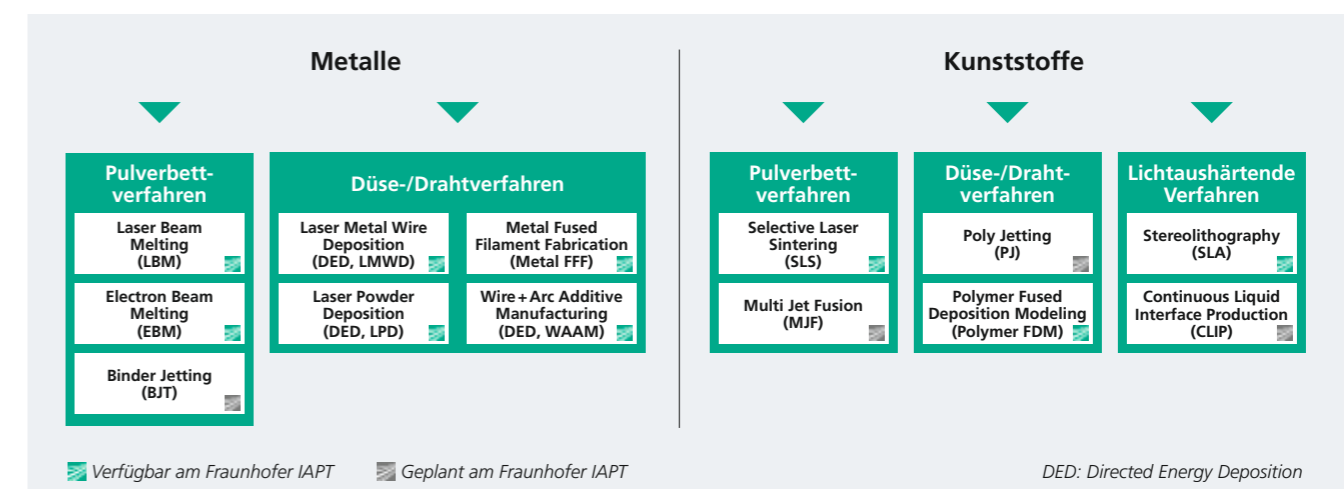
Ein gesonderter Bereich am Fraunhofer IAPT ist die Medizintechnik. Hier bestehen besondere Anforderungen an die einzelnen herzustellenden Teile, weshalb die Medizintechnik in einem eigenen Fraunhofer IAPT Center zusammengefasst ist.

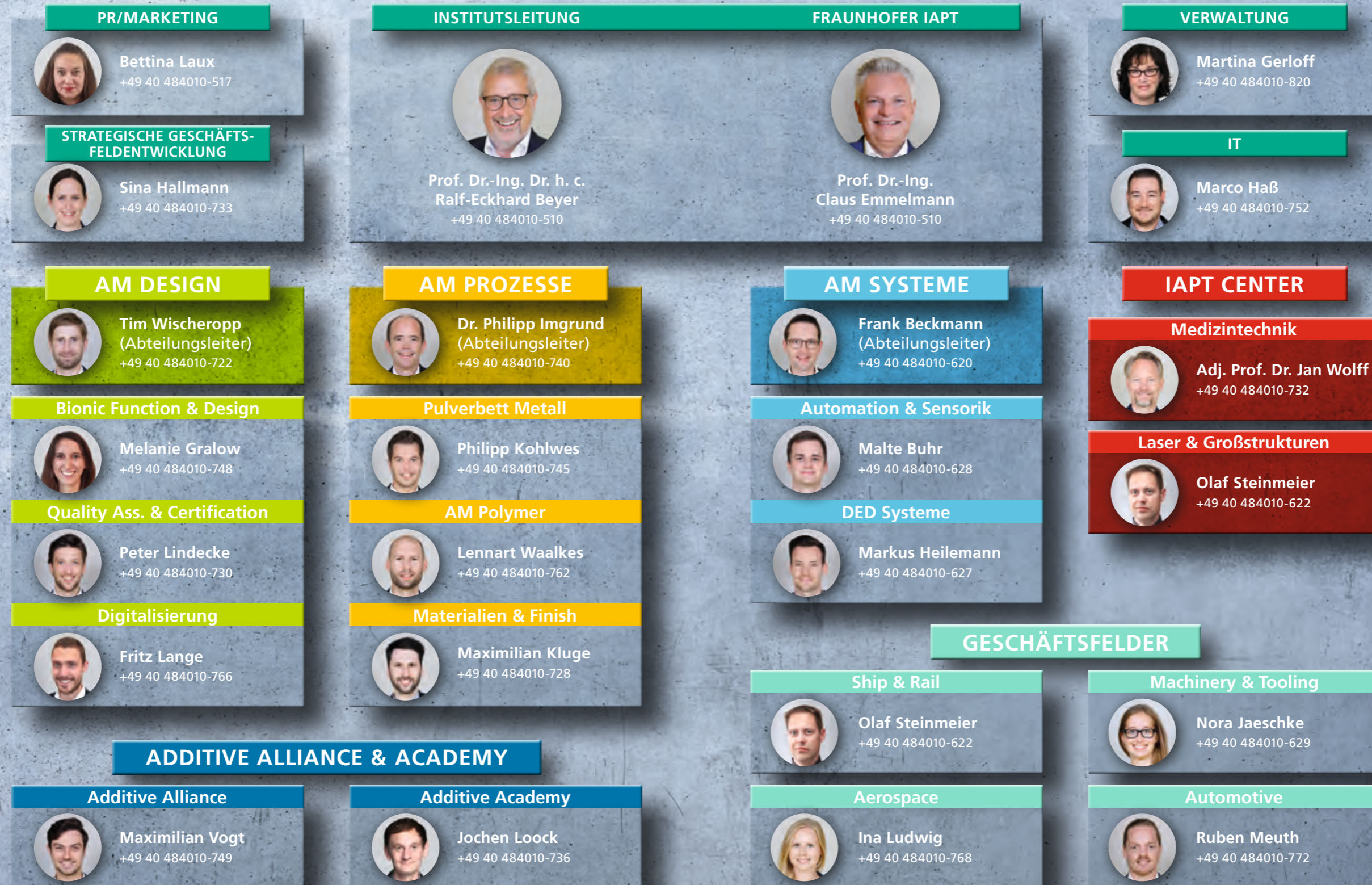
## Autonome Systeme

Das Fraunhofer IAPT arbeitet an der Entwicklung von »intelligenten« autonomen Systemen mit dem Ziel, die Daten und die Funktion des gewünschten Bauteils auf die Anlage laden zu können und anschließend das fertige Bauteil zu erhalten. Solche Systeme werden im Einzelnen, aber auch als Ganzes in Form einer autonomen, containerbasierten Fertigungsfabrik entwickelt.

## Aus- und Weiterbildung

Für die Aus- und Weiterbildung hat das Fraunhofer IAPT eine »Additive Academy« gegründet. Das Bildungsangebot erstreckt sich über das komplette Spektrum der additiven Produktion und richtet sich an Mitarbeiter von Unternehmen aus den Gebieten Konstruktionsingenieure und operative Fachkräfte bis hin zu Managern. Hierbei kann zwischen eintägigen Crashkursen und mehrtägigen individuellen Trainings gewählt werden.





AM DESIGN

AM PROZESSE

AM SYSTEME

IAPT CENTER

ADDITIVE  
ALLIANCE &  
ACADEMY

»In meinem Team entwickeln wir smarte Systemlösungen, um den Kunden eine hochqualitative und wirtschaftliche AM-Fertigung zu ermöglichen.«

»Die Kombination neuer Materialien und modernster Prozesstechnik ist der Schlüssel zur Entwicklung innovativer 3D-Druck-Lösungen für industrielle Anwendungen.«

»Erst das richtige bionische Bauteildesign sowie eine effiziente Qualitätssicherung ermöglichen die wirtschaftliche Nutzung der additiven Produktionstechnologien.«





## AM DESIGN

Bei den additiven Produktionstechnologien steht an erster Stelle das Design des zukünftigen Bauteils. Ein Bauteil kann besonders dann kostengünstig und ressourceneffizient hergestellt werden, wenn bereits in der Konstruktionsphase das Design an den späteren Fertigungsprozess angepasst wird. Die Qualität eines Bauteils hängt ebenfalls entscheidend von der Konstruktion (dem Design) und den geplanten Bearbeitungsschritten ab. Durch entsprechend kontinuierliche Überwachung kann sie während der Fertigung direkt überwacht und geregelt werden.

### Design für die additive Fertigung

In der Gruppe Bionic Function und Design beschäftigen wir uns mit den völlig neuen konstruktiven Möglichkeiten, die die additiven Produktionstechnologien bieten. Wir helfen bei der Auswahl von Bauteilen, die durch die additive Fertigung wirtschaftlich hergestellt werden und eine erweiterte Funktion erhalten können. Für eine kostengünstige Fertigung ist es dabei essenziell, dass die spätere Bauteilnachbearbeitung bereits im Bauteildesign berücksichtigt wird.

Eine unserer Stärken ist, dass wir Bionik und rechnergestützte Optimierung mit langjähriger Erfahrung in den additiven Produktionstechnologien kombinieren können.

Im Besonderen beschäftigen wir uns mit Strukturen:

- Für den ressourceneffizienten Leichtbau
- Für eine optimierte Wärmeübertragung
- Für eine verbesserte Akustik
- Für einteilige Gelenk- und Greifsysteme
- Für die Sensorintegration
- Für Katalysatoren
- Für die effiziente Hydraulik

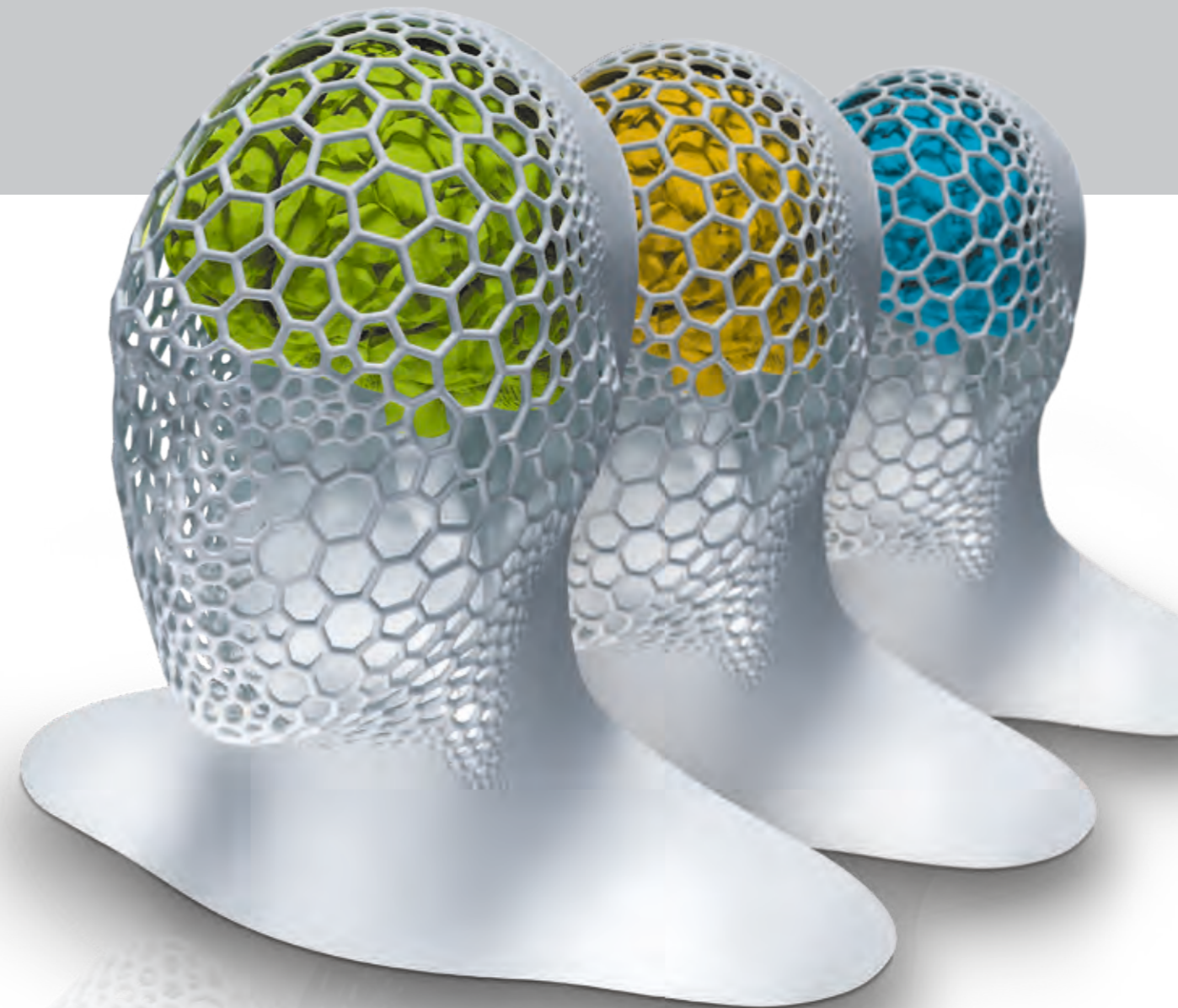
### Qualitätssicherung und Zertifizierung

Die spätere Qualität eines Bauteils ist in erheblichem Maße abhängig vom Design. Insbesondere bei neuen Fertigungsverfahren ist dabei die Überwachung aller relevanten Fertigungsschritte wichtig.

In der Gruppe Quality Assurance und Certification entwickeln wir Lösungen für eine automatisierte Qualitätsüberwachung und -regelung. In vielen Fällen lassen sich dabei Kosteneinsparungen durch geeignete Kombination von Prozessüberwachungssystemen (z. B. Aufnahme der Schmelzbademission) und nachgelagerten QS-Systemen (z. B.  $\mu$ CT oder zerstörende Prüfung) erzielen.

Mit unserem Know-how über die verschiedenen QS-Technologien sind wir in der Lage, maßgeschneiderte Lösungen, die den speziellen Anforderungen unserer Kunden entsprechen, zu entwickeln und zu erproben.

Um den Prozessablauf möglichst komplett zu dokumentieren, wurde eine Plattform entwickelt, die alle relevanten Parameter bauteilspezifisch automatisch aufzeichnet. Unser »digitales Laborbuch« stellt die Basis für den späteren Einsatz künstlicher Intelligenz dar.



### Digitalisierung der AM Prozesskette

Eine durchgängig digitalisierte und automatisierte Produktentwicklung und Fertigung wird ein entscheidender Faktor für erfolgreiche Unternehmen in der Zukunft sein. In der Fachgruppe »Digitalisierung« entwickeln wir daher Softwarelösungen und -module für die additiven Produktionstechnologien, die sowohl bei der Produktauswahl als auch beim Design der bionischen Bauteile helfen und die Fertigungsplanung, Prozessüberwachung und Qualitätssicherung automatisieren. Unsere Produkte lassen sich kundenindividuell anpassen und in bestehende Softwarelösungen integrieren.

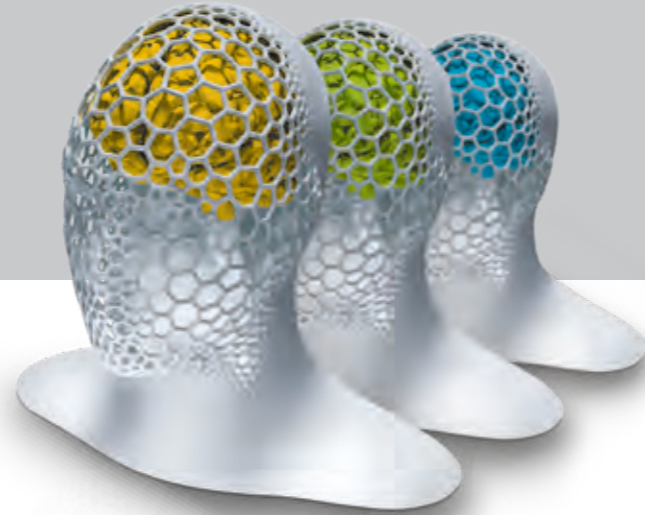
#### KONTAKT

Tim Wischeropp

+49 40 484010-722

tim.wischeropp@iapt.fraunhofer.de





## AM PROZESSE

Die Abteilung AM Prozesse befasst sich mit der Entwicklung und Optimierung von Werkstoffen, Fertigungsverfahren und Nachbehandlungsschritten für additiv gefertigte Komponenten. Vorrangiges Ziel ist es, die Herstellungskosten z. B. durch Erhöhung der Prozessgeschwindigkeiten oder geeignete Strahlformung zu minimieren und die Qualität der Bauteile zu optimieren.

### Entwicklung und Optimierung des Prozesses

In der additiven Fertigung liegt ein Schwerpunkt in der Weiterentwicklung von pulverbettbasierten Prozessen. Hierzu gehören das selektive Laserstrahlschmelzen von Metallen sowie das Selektive Lasersintern von Polymeren.

Ein strategisches Ziel der Abteilung ist es, die Verfahren hinsichtlich der Kosten und der Produktivität durch Entwicklung neuer Prozesstechniken und Aufbaustrategien zu optimieren. Hierbei spielen u. a. die Lage des Bauteils im Pulverbett sowie die Form und Geometrie des Laserstrahls eine entscheidende Rolle.

Beabsichtigt ist, eine wirtschaftliche Alternative bei der Herstellung von individualisierten Prototypen, Ersatzteilen und Kleinserien anbieten zu können. Dies gilt für Bauteile aus Metallen sowie für Bauteile aus Polymeren.

Eine zentrale Forschungsaufgabe der Abteilung wird es sein, geeignete Systemkomponenten zu entwickeln und in den Aufbauprozess zu integrieren.

Einen weiteren Schwerpunkt der Abteilung bilden extrusionsbasierte additive Fertigungsverfahren wie der Filamentdruck von Polymeren sowie das binderbasierte Drucken von Metallen für Prototypen und zukünftig auch für die Serienfertigung.

Der Umgang mit losem, feinkörnigem Metallpulver stellt derzeit noch eine Gefahrenquelle sowohl hinsichtlich des Arbeits- als auch des Gesundheitsschutzes dar. Für die sichere additive Produktion entwickelt das Fraunhofer IAPT spezielle Absaugungs- und Überwachungskomponenten.

### Finishing

Um additiv gefertigte Bauteile einsetzen zu können, muss zuvor ein geeigneter Finishing-Prozess durchgeführt werden. Diese Nachbearbeitung muss genauso optimiert werden wie der eigentliche Herstellungsprozess.

Letztendlich ist die gesamte Prozesskette für die Kosten des Bauteils verantwortlich. Die Weiterentwicklung von Oberflächen- und Nachbearbeitungsverfahren wird am Fraunhofer IAPT in einer eigenen Arbeitsgruppe intensiv untersucht und für Kunden angepasst.

### KONTAKT

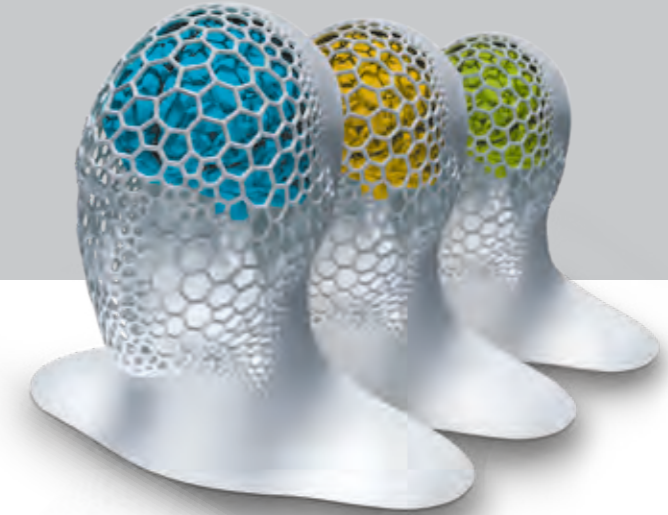
Dr. Philipp Imgrund

+49 40 484010-740

philipp.imgrund@iapt.fraunhofer.de



## AM SYSTEME



Die Abteilung AM Systeme entwickelt maßgeschneiderte Lösungen für die smarte und hoch automatisierte additive Produktion. Hierbei werden Konzepte der qualitätsgesicherten »First Time Right«-Fertigung komplexer Bauteile der Losgröße 1 entwickelt und diese bis hin zu intelligenten Maschinenverkettungen im Sinne von Industrie 4.0 realisiert. Die Abteilung gliedert sich in zwei Fachgruppen, in denen die notwendigen technologischen Bausteine entwickelt und für die Industrie umgesetzt werden. Die Dienstleistung umfasst dabei die Entwicklung einzelner Systemkomponenten, die Verknüpfung und Realisierung vollständig autonomer Prozessketten sowie ihre Umsetzung als Additive Mobile Factory. Hinzu kommen die Abbildung der Prozessabläufe in einem digitalen Zwilling und die simulationsgestützte Optimierung von Produktionslinien in einem selbstentwickelten Tool.

### Sensorik und Automation

Die Gruppe Sensorik und Automation hat sich zum Ziel gesetzt, AM-Produktionsprozesse durch eigens entwickelte Sensoren, Kalibration und Automatisierungslösungen präziser und automatisierter zu gestalten. Die Kosten für manuelle Eingriffe sowie manuelle Nachbearbeitung können somit reduziert werden. Diese Entwicklungen umfassen u. a.:

- Die Entwicklung neuartiger optischer Sensorlösungen für additive und konventionelle Prozesse
- Eine Genauigkeitssteigerung durch Sensorik- und Systemkalibration
- Die Entwicklung smarterer Roboter- und CNC-basierter Automatisierungslösungen
- Die Systemsteuerung über Sensorik und Augmented Reality

### DED Systeme

Der Fokus dieser Gruppe liegt auf der Entwicklung der hochproduktiven Directed-Energy-Deposition-Verfahren (DED Verfahren) und ihrer peripheren Systemtechnik für die additive Fertigung.

Dieser aus der Beschichtung und Reparatur von Bauteilen adaptierte Prozess umfasst die Technologien des Laser-Pulver- und Laser-Draht- sowie Lichtbogen-Draht-Auftragschweißens. Je nach Bauteil und Fertigungsanforderung können somit maßgeschneiderte Lösungen entwickelt werden. Die Schwerpunkte dieser Fachgruppe liegen u. a. in der:

- Entwicklung von Bahnplanungstools für das Auftragschweißen komplexer 3D-Strukturen
- DED Prozessentwicklung durch Machine-Learning-Algorithmen
- Konzeptionierung und Realisierung von ortsunabhängigen und autonomen Fertigungseinheiten inkl. der Endbearbeitung von Bauteilen
- Simulationsgestützte Optimierung von Fabrik- und Fertigungsstrukturen inkl. ihrer Abbildung durch einen digitalen Zwilling

### KONTAKT

Frank Beckmann

+49 40 484010-620

frank.beckmann@iapt.fraunhofer.de





## MEDIZINTECHNIK

Die Medizintechnik ist ein stetig wachsendes und zugleich anspruchsvolles Gebiet für Innovationen und deren Anwendung. Gerade die additiven Produktionstechnologien und künstliche Intelligenz (KI) haben gezeigt, dass sie wichtige Bausteine in der modernen, patientenindividuellen Versorgung sind. Das am Fraunhofer IAPT eigens eingerichtete Medizin-Kompetenzcenter forscht auf beiden Kompetenzfeldern und unterstützt Unternehmen, Krankenhäuser und Mediziner bei der Umsetzung und Implementierung des neuen medizinischen Workflows.

### Patientenindividuelle Konstrukte und Implantate

Der 3D-Druck hat sich in der Medizin mit rasanter Geschwindigkeit entwickelt. Schon heute werden Zahnkronen, Hörgeräte und chirurgische Instrumente erfolgreich mit 3D-Druckern hergestellt. Patientenindividuelle Anschauungsmodelle, Werkzeuge und Implantate aus Harzen, Kunststoffen und Metallen werden bei führenden Kliniken zur Kommunikation, zur Planung und während der Operation übergreifend eingesetzt. Das Fraunhofer IAPT-Medizin-Kompetenzcenter unterstützt bei der Umsetzung und hat dazu eine eigene Infrastruktur aus 3D-Druckern und KI-Softwarelösungen aufgebaut. So lassen sich neue Verfahren und Werkstoffe testen, neuartige Implantatlösungen realisieren und durch KI schneller individualisieren. Neben dem Design und der Fertigung von medizinischen Produkten liegt der Forschungsschwerpunkt auf der Entwicklung von ganzheitlichen und ins klinische Umfeld integrierbaren Konzepten sowie der Ausbildung und Schulung von medizinischem Fachpersonal.

### Implementierung des medizinischen Workflows

Zusammen mit führenden Kliniken und Zulieferern arbeiten wir daran, den medizinischen Workflow durch additive Fertigungstechnologien, Werkzeuge der künstlichen Intelligenz und Robotik zu ergänzen und zu optimieren. So können Rekonstruktionen auf der Basis eines Goldstandards durch KI präzise geplant und im Anschluss additiv hergestellt werden. Durch die Integration der neuen Technologien und einen robotergestützten Eingriff lassen sich Operationszeiten signifikant verkürzen, was zu einer schnelleren Genesung der Patienten beiträgt. Ein weiterer Baustein im Handlungsfeld ist die Qualifizierung und Zertifizierung von Prozessen und Produkten im Einklang mit den Anforderungen der neuen EU-Medizinprodukteverordnung.

## LASER UND GROSSTRUKTUREN

Das Fraunhofer IAPT betreibt eigens ein Kompetenzzentrum zur Laserbearbeitung und für den Aufbau von Großstrukturen. Das spezielle Know-how umfasst sowohl laserbasierte Füge-technologien als auch verschiedene additive Herstellungsverfahren für Metalle, Kunststoffe und Beton. Die Entwicklungsziele und -tätigkeiten richten sich auf innovative und optimierte Prozesse, verbesserte Materialeigenschaften, die erforderlichen Bearbeitungs- und Überwachungssysteme sowie zugehörige Automatisierungslösungen.

von Laserstrahl und Lichtbogen höhere Schweißgeschwindigkeiten ermöglichen, Wärmeeintrag vermindern und so zur Reduktion thermisch bedingter Bauteilverformungen beitragen. Auch die Spaltüberbrückbarkeit konnte maßgeblich verbessert werden (vgl. S. 64: Bericht zu »ShipLight«). Neben den Schiffsbauanwendungen entwickelte das Fraunhofer IAPT mit großem Erfolg ebenfalls hochproduktive Laserschweißprozesse für den Automobil-, Kran- und Schienenfahrzeugbau.

### Hochleistungslaseranwendungen

Für diese Aufgaben bietet das Fraunhofer IAPT Center für Laser und Großstrukturen seinen Kooperationspartnern eine einzigartige Anlagentechnik. Ein 30-Kilowatt-Faserlaser steht zum Dickblechschweißen mit Einschweißtiefen von bis zu 25 Millimetern in einer Lage zur Verfügung. Schneid- und Abtragprozesse für verschiedene Werkstoffe stellen weitere Hochleistungslaseranwendungen dar. Darüber hinaus können zahlreiche Robotersysteme und eine Portalanlage zur Bearbeitung von Bauteilen mit bis zu 30 Metern Länge eingesetzt werden.

### Großstrukturen

Großstrukturen werden im Fraunhofer IAPT aber nicht nur geschweißt, sondern zunehmend auch additiv aufgebaut. Die additive Fertigung bietet maximale Gestaltungsfreiheit und die Option zur Funktionsintegration auch für großformatige Bauteile. Die besondere Herausforderung besteht darin, gleichzeitig hohe Aufbauraten ohne Verlust an Genauigkeit zu erreichen, um Großstrukturen einerseits schnell und wirtschaftlich erzeugen zu können und andererseits den Nachbearbeitungsaufwand gering zu halten. Aufgrund der Bauteilabmessungen ist die robotergestützte Anwendung des DED Verfahrens (Directed Energy Deposition) für Metalle bzw. des FDM-Prozesses (Fused Deposition Modeling) für Kunststoffe prädestiniert. Aber auch der 3D-Druck von Beton ist Bestandteil der Forschung im Fraunhofer IAPT. Die additive Betonverarbeitung erlaubt einen hohen Automatisierungsgrad und die Realisierung zusätzlicher Funktionen wie z. B. die Klimatisierung von Technikgebäuden.

### Laser- und Laserhybridschweißen

Als LZN-Nachfolger besitzt das Fraunhofer IAPT langjährige Erfahrung im Laser- und Laserhybridschweißen. In großen öffentlich geförderten Schiffsbauprojekten wurden seit 2009 verzugsarme Fügeprozesse entwickelt, die in der Kombination

#### KONTAKT

Adj. Prof. Jan Wolff  
 +49 40 484010-732  
 jan.wolff@iapt.fraunhofer.de



#### KONTAKT

Phillip Gromzig  
 +49 40 484010-742  
 phillip.gromzig@iapt.fraunhofer.de



#### KONTAKT

Olaf Steinmeier  
 +49 40 484010-622  
 olaf.steinmeier@iapt.fraunhofer.de



#### KONTAKT

Georg Cerwenka  
 +49 40 484010-632  
 georg.cerwenka@iapt.fraunhofer.de





## ADDITIVE ACADEMY

### Grundlage für die additive Zukunft von Unternehmen

Nach wie vor spielt die Ausbildung von Designern, Ingenieuren und Entscheidungsträgern in der Wirtschaft bei der weiteren Marktdurchdringung der additiven Produktion eine Schlüsselrolle. So muss gerade im Bauteildesign ein Umdenken stattfinden, um die Potenziale additiver Produktion in Form von radikalem Leichtbau oder Bauteilintegration für das jeweilige Produktspektrum zu erschließen.

Das Fraunhofer IAPT bietet im Bereich additiver Produktion unter dem Label »Additive Academy« schon seit 2014 erfolgreich Schulungen am Markt an und konnte bereits über 1500 Ingenieure für Kunden aus der Luftfahrt, der Automobilindustrie, dem Maschinenbau und dem Dienstleistungssektor weiterbilden. Durch die positive Erfahrung in den Schulungen können die Kunden in weiteren Fraunhofer IAPT-Dienstleistungen vom Bionic Design bis zur Serienproduktion ihre additive Zukunft gestalten.

Die Additive Academy vermittelt anwendungsnahes Wissen zu Themen rund um den industriellen Einsatz von additiver Fertigung. Das Trainingsprogramm beinhaltet neben theoretischen Schulungen auch Hands-on-Trainings direkt an den Maschinen und wird von insgesamt 40 Experten eines der führenden Institute für die additive Produktion begleitet.

Mit den Seminaren werden alle Unternehmensbereiche abgedeckt: Design, Produktion und Management. Und auch die Anforderungsniveaus der Trainings sind angepasst an das Vorwissen der Teilnehmer. Die Schulungen sind unterteilt in Starter-, Advanced- und Expert-Trainings, sodass je nach Wissensstand das richtige Training gewählt werden kann. Es sind darüber

hinaus aber auch maßgeschneiderte, kundenindividuelle Trainings möglich.

Mit 6 unterschiedlichen Technologien der additiven Produktion und 13 Maschinen in unserem Institut vor Ort in Hamburg decken wir ein breites Spektrum ab. Trainings bei den Unternehmen vor Ort sind aber genauso möglich, wenn sich additive Soft- und Hardware nutzen lässt.

Natürlich wird das Angebot der Additive Academy stetig weiterentwickelt und an die Entwicklungen und Trends der Branche angepasst. So wird ab 2020 ein zweiwöchiger Zertifikatslehrgang zum Thema »Metal Additive Manufacturing Design Professional« angeboten. Bereits ab November 2019 gibt es einen E-Learning-Kurs zum Thema »Verfahrensauswahl der additiven Fertigung«.

Aus der Additive Academy entwickelt sich aktuell der Geschäftszweig »Additive Consulting«. Dieser soll Kunden bei der Einführung additiver Produktion auf Managementebene beraten. Des Weiteren entwickelt das Additive Consulting zusammen mit den Fachabteilungen des Fraunhofer IAPT Technologiestudien, die teilweise veröffentlicht werden.

	Design	Produktion	Management
Starter	AM Basic Training*	AM Basic Training*	Learning Expedition
Advanced	Design for Additive Manufacturing Training	Hands-on Training*	Management Deep Dive
	Hands-on Training*		
Expert	Bionic Design Training	Workshop Datenvorbereitung	Workshop Strategie
	Workshop Design	Workshop Pulver	

\* Basierend auf AM-Technologien für Metalle oder Kunststoffe.

Kundenspezifische Anpassung der Trainingsinhalte möglich

### Implementierung

Machbarkeits-screening Bauteile

Design Challenge

### Ihr Kontakt für alle Themen rund um die Additive Academy

Sprechen Sie mit unseren Experten. Sie helfen Ihnen dabei, Potenziale zu erkennen, geeignete Bauteile für die additive Produktion zu finden und den 3D-Druck erfolgreich in Ihrem Unternehmen zu implementieren.

**KONTAKT**  
 Jochen Look  
 +49 40 484010-736  
 jochen.look@iapt.fraunhofer.de



## GRÖSSTES TITANSERIENBAUTEIL IM AUTOMOBILBAU: BREMSSATTEL FÜR BUGATTI – VON DER ERSTEN IDEE BIS ZUR SERIENFERTIGUNG

*In Kooperation mit dem Fraunhofer IAPT fertigen Ingenieure von Bugatti den leistungsstärksten Bremssattel im Automobilbereich.*

Anfang 2018 wurde das größte additiv gefertigte Funktionsbauteil aus Titan, der Funktionsprototyp eines Bremssattels für den Bugatti Chiron, erstmals präsentiert. Der Acht-Kolben-Monoblock-Bremssattel ist gleichzeitig auch der größte Bremssattel, der in der Automobilindustrie zum Einsatz kommt. Ende vergangenen Jahres konnte er nun erfolgreich auf einem Prüfstand getestet werden. Die generative Fertigung erfolgte in Zusammenarbeit zwischen dem Entwicklungsteam der Bugatti Engineering GmbH und den Experten des Fraunhofer IAPT. Herausgekommen ist ein Hochleistungsbremssattel, der den Supersportwagen mühelos von der Höchstgeschwindigkeit zum Stillstand bringt. Aber nicht nur das Fahrzeug, in dem der



Quelle: Bugatti-Video

Bremssattel zum Einsatz kommt, ist mehr als sportlich, auch die Entwicklung erfolgte in rasanter Geschwindigkeit. Schon drei Monate nach der Idee konnte der erste Prototyp am Fraunhofer IAPT in Hamburg gedruckt werden.

### 41 Prozent Gewichtsersparnis durch Titan und bionisches Design

Das Ergebnis kann sich sehen lassen. Trotz seiner Größe von 410 Millimetern Länge, 210 Millimetern Breite und 140 Millimetern Höhe wiegt der Bremssattel lediglich 2,9 Kilogramm und ist somit 41 Prozent leichter als sein konventionell gefertigter Vorgänger.

Möglich wurde dies zum einen durch Verwendung einer Legierung aus Titan, Aluminium und Vanadium, die hauptsächlich in der Luft- und Raumfahrt verwendet wird und nun Einzug in den Automobilbereich hält. Zum anderen orientiert sich das Design an Prinzipien der Natur. Durch Kombination des neuen Werkstoffs und des bionischen Ansatzes konnte eine höhere Performance bzw. Belastungsfähigkeit erreicht werden.

Doch die extrem hohe Festigkeit von Titan erschwert die konventionelle Herstellung solcher Bauteile durch Fräsen oder Schmieden. Um dieses Problem zu bewältigen, kamen die Experten des Fraunhofer IAPT ins Spiel. Am Standort Hamburg wurde der Bremssattel durch additive Fertigung hergestellt, wodurch die Fertigung des Rohbauteiles überhaupt ermöglicht wurde.

Zur Fertigung des Bremssattels wurde die Laserstrahlschmelzanlage eingesetzt, die über vier Laser mit jeweils 400 Watt verfügt, die simultan das Bauteil aufbauen. So konnte der

Bremssattel trotz seiner Größe bereits nach 45 Stunden Druckzeit aus dem umliegenden Pulverbett befreit werden, um anschließend eine zehnstündige Wärmebehandlung zur Beseitigung der Eigenspannungen zu erhalten.

Was folgte, waren weitere Arbeitsschritte zur Nachbearbeitung, z. B. das Entfernen der für den Bauprozess notwendigen Stützstrukturen oder das Polieren. Letzteres ist ein mechanisch-physikalisch-chemisches Verfahren zur Glättung der Oberflächen. Zu guter Letzt wurden die Konturen aller Funktionsflächen in einer Fünf-Achs-Fräsmaschine bearbeitet.

### Bis zu 1100 °C Betriebstemperatur

Ende vergangenen Jahres wurde der Bremssattel-Prototyp auf dem Prüfstand getestet und konnte dabei auf beeindruckende Weise unter Beweis stellen, dass er den Anforderungen für den späteren Einsatz grundsätzlich gewachsen sein sollte. Das YouTube-Video des funken sprühenden Bremssattels ist insgesamt bereits über 15 Millionen Mal angeklickt worden, davon 2,9 Millionen Mal alleine auf der Seite des VW-Konzerns.

»Der Beweis, dass ein generativ gefertigtes Metallbauteil auch ganz extremen Festigkeits-, Steifigkeits- und Temperaturanforderungen gewachsen ist, ist damit bei Geschwindigkeiten von über 375 km/h, permanenten Verzögerungen in der Höhe von 1,2 g und Bremsscheibentemperaturen von bis zu 1100 °C erbracht worden«, so Frank Götzke, Head of New Technologies bei Bugatti.

Was nun folgt, sind weitere Versuche von Bugatti hinsichtlich des Serieneinsatzes. Ein Teil davon beinhaltet auch die Optimierung der gesamten Nachbearbeitung, um somit die Fertigungsdauer und die Fertigungskosten drastisch zu reduzieren, mit dem Ziel, den Bremssattel im nächsten Serienfahrzeug von Bugatti zu verwenden. Damit ist der Bremssattel zu einem weiteren wichtigen Beispiel geworden, wie die additive Produktion

von Metallbauteilen die industrielle Entwicklung in der Automobilindustrie beschleunigen kann.

### Höhere Performance bei 5,3 Kilogramm Gewichtsersparnis

Dass es sich bei dem Bremssattel nicht um einen Einzelfall handelt, zeigen weitere Entwicklungen aus dem Automobilbereich, bei denen additive Produktion zum Einsatz kommt. In einem weiteren Kooperationsprojekt haben sich die Entwicklungsteams von Bugatti und vom Fraunhofer IAPT erneut zusammengesetzt und die Heckflügelmechanik des Chiron optimiert.

Die verstellbare Mechanik erlaubt es, die Aerodynamik bedarfsgerecht anzupassen. So wird das Fahrzeug dabei unterstützt, in 32,6 Sekunden eine Geschwindigkeit von 400 km/h zu erreichen und innerhalb von nur neun Sekunden wieder zum Stillstand zu kommen.

Auch hier konnte wieder das große Potenzial aus der Kombination von bionischem Leichtbau und additiver Fertigung aufgezeigt und genutzt werden. Die optimierte Heckflügelmechanik ist 5,3 Kilogramm leichter und weist eine höhere Steifigkeit auf.

In Kooperation mit:



### KONTAKT

Ruben Meuth

+49 40 484010-772

ruben.meuth@iapt.fraunhofer.de



## FRAUNHOFER IAPT GOES MARS – MIT 3D-DRUCK IN DIE UMLAUFBAHN

Im Mai 2018 startete in Kalifornien die NASA-Raumsonde InSight ihre Reise, um nach rund sieben Monaten erfolgreich auf der Marsoberfläche zu landen.

Ziel der Mission ist die umfangreiche Untersuchung des inneren Aufbaus des Roten Planeten. So sollen bspw. physikalische Eigenschaften des Bodens oder Bewegungen der Rotationsachse des Mars erfasst werden. Um entsprechende Messungen durchzuführen, wurde u. a. das Sensorpaket HP<sup>3</sup> vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt an Bord des stationären Ladegeräts der Raumsonde installiert.

Im Zuge der Entwicklung von HP<sup>3</sup> kam es dabei zu einer erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen dem DLR und dem Fraunhofer IAPT. Die Halterung des HP<sup>3</sup> – das sogenannte Mounting Bracket – wurde speziell für den Einsatz konstruiert und konnte nur durch selektives Laserstrahlschmelzverfahren kosteneffizient hergestellt werden. Neben dem geringen Gewicht, das durch ein dünnwandiges Leichtbaudesign realisiert wurde (700 Mikrometer Wandstärke), konnte durch den Einsatz einer Titanlegierung (Ti-64) auch ein wärmeisolierender Charakter sichergestellt werden. Zudem wurden die mechanischen Zielgrößen des Bauteils mühelos erreicht (Belastung 30 G). Somit waren auch die 2,3 Millionen Kilometer, die die Raumsonde täglich zurücklegte (~ 100 000 km/h), keine technische Hürde für das 15 Gramm schwere, additiv gefertigte Bracket.

Mithilfe des HP<sup>3</sup>-R-Sensorpakets werden nun innerhalb der nächsten zwei Jahre (ein Marsjahr) Messdaten von Wärmeströmen aus dem Marsinneren erfasst. Hierzu gräbt sich ein sogenannter Maulwurf bis zu fünf Meter tief in die Marsoberfläche, um Temperatursensoren in den Boden einzubringen,

die im Zusammenspiel mit zusätzlichen Infrarot-Strahlungsmessungen des Radiometers an der Oberfläche Informationen über den Wärmefluss liefern.

Neben dem Marsbracket wurde im Zuge einer weiteren Zusammenarbeit mit dem DLR am 29. Juni 2018 auch ein Bauteil via SpaceX CRS-15 auf die ISS geschickt.

Das DESIS-Spektrometer dient der Erfassung von hyperspektralen Daten sowie der Anwendung in der Erdbeobachtung und wird in der humanitären Hilfe oder auch beim Präzisionsackerbau Anwendung finden.

Das Fraunhofer IAPT fertigte hier eine dünnwandige Ti-64-Streulichtblende, die im Anschluss schwarz beschichtet wurde und mittlerweile erfolgreich an der ISS im Einsatz ist. Die monolithische Struktur des Teils war hierbei nicht mit klassischen Fertigungsverfahren zu realisieren. Das spezielle Design, das Rückstrahlungen minimieren und möglichst viele Emissionen absorbieren soll, konnte via SLM schnell und kosteneffizient hergestellt und schon nach der ersten Fertigungsiteration im Weltraum zum Einsatz gebracht werden.

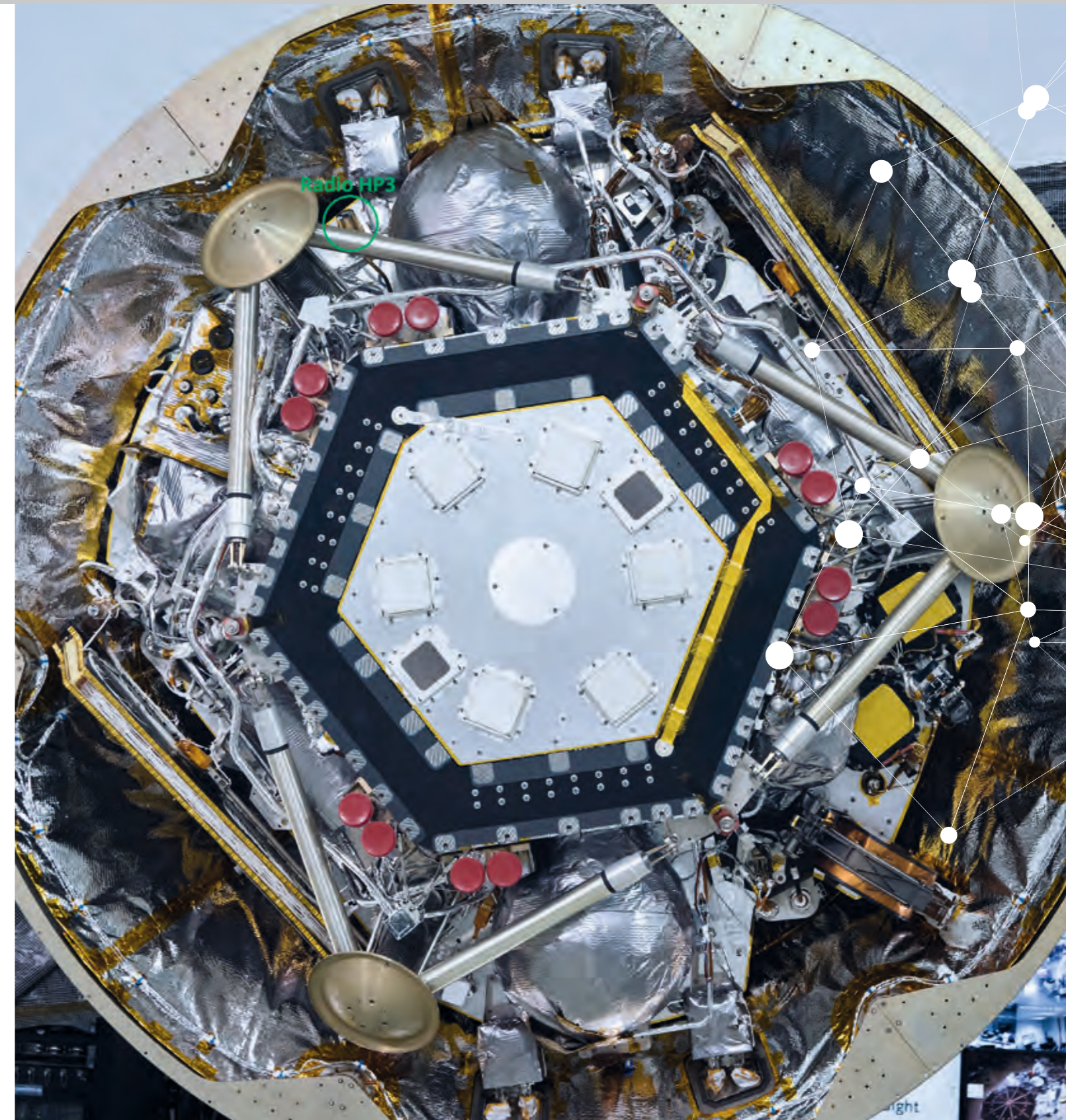


### KONTAKT

Maximilian Kluge

+49 40 484010-728

maximilian.kluge@iapt.fraunhofer.de





## AUSZEICHNUNGEN MITARBEITER

Ein besonderes Highlight zum Jahresende 2019 war die Auszeichnung von Mitarbeitern des Fraunhofer IAPT, die mit ihren Forschungsergebnissen Besonderes geleistet und einen großen Schritt in die Zukunft gemacht haben. Gesucht wurde eine Gruppe oder eine einzelne Person, die eine hervorzuhebende Leistung im wissenschaftlich-technischen Bereich erbrachte. Im Bild – eingerahmt von der Institutsleitung – sind die Preisträger in der Reihenfolge von links nach rechts abgebildet:

- |  |       |  |
|--|-------|--|
| <b>Robert Lau</b>  | _____ | Preis für die beste studentische Leistung      |
| <b>André Fischer</b>   | _____ | Preis für die beste innovative Produktidee     |
| <b>Tim Röver</b>   | _____ | Preis für die beste studentische Leistung      |
| <b>Arnd Struve</b>   | _____ | Preis für die beste technische Leistung        |
| <b>Fritz Lange</b>   | _____ | Preis für die beste wissenschaftliche Leistung |
| <b>Tobias Keßler und Friedrich Proes</b> (beide nicht im Bild) | _____ | Preis für die beste innovative Produktidee     |

## Aufwand

### Fraunhofer IAPT

	in Mio. €
Personalaufwand	6,0
Sachaufwand	2,9
Investitionen	0,8
<b>Gesamt</b>	<b>9,7</b>

## Mitarbeiter

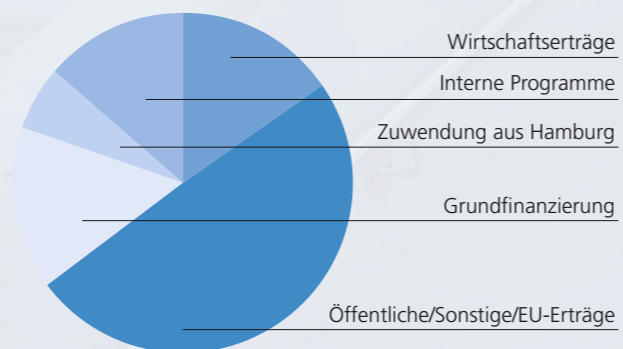
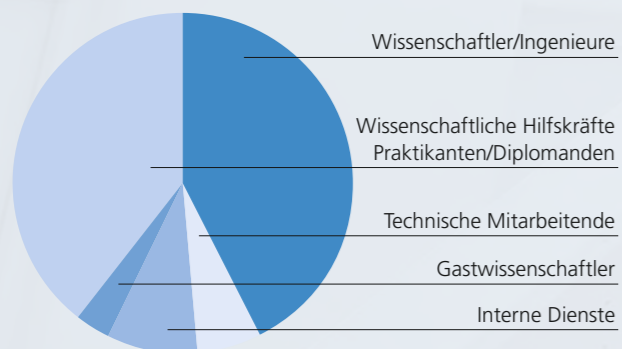
### Fraunhofer IAPT

	Anzahl
Wissenschaftler/Ingenieure	63
Technische Mitarbeitende	9
Interne Dienste	13
Gastwissenschaftler	5
Wissenschaftliche Hilfskräfte/Praktikanten/Diplomanden	58
<b>Gesamt</b>	<b>148</b>

## Erträge

### Fraunhofer IAPT

	in Mio. €
Wirtschaftserträge	1,5
Öffentliche/Sonstige/EU-Erträge	4,8
Grundfinanzierung	1,5
Zuwendung aus Hamburg	0,6
Interne Programme	1,3
<b>Gesamt</b>	<b>9,7</b>





Das Kuratorium steht der Institutsleitung und den Organen der Fraunhofer-Gesellschaft beratend zur Seite und fördert die Verbindung zu den an den Forschungsarbeiten interessierten Kreisen. Zum Kuratorium gehörten im Berichtszeitraum folgende Mitglieder:

**Dr. Georg Mecke**

Vorsitzender des Kuratoriums,  
stellvertretender Vorstandsvorsitzender,  
Airbus Deutschland GmbH, Hamburg

**Dr. Rolf Greve**

Mitglied des Leitungsteams,  
Freie und Hansestadt Hamburg,  
Behörde für Wissenschaft und Forschung; Hochschulamt

**Prof. Dr. Ed Brinksma**

Präsident,  
Technische Universität Hamburg

**Urban August**

Senior Vice President und Geschäftsführer, Deutschland,  
Siemens Industry Software GmbH, Köln

**Uwe Fresenborg**

Vorsitzender der Geschäftsführung,  
DB Fahrzeuginstandhaltung GmbH

**Lars Reeder**

Geschäftsführer,  
Hein & Oetting Feinwerktechnik GmbH, Hamburg

**Angela Titzrath**

Vorstandsvorsitzende,  
Hamburger Hafen und Logistik Aktiengesellschaft

**Prof. Dr.-Ing. Jens P. Wulfsberg**

Leiter des Laboratoriums Fertigungstechnik,  
Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg

Das Fraunhofer IAPT ist Mitglied des Fraunhofer-Verbunds Produktion, eines kooperativen Zusammenschlusses aus elf Fraunhofer-Instituten und -Einrichtungen. Das Ziel ist es, gemeinsam produktionsnahe Forschung und Entwicklung zu betreiben. Unter Nutzung der neuesten Erkenntnisse aus den Produktions- und Ingenieurwissenschaften und der Informatik bietet der Verbund ein Leistungsspektrum an, das den gesamten Produktlebenszyklus bzw. die gesamte Wertschöpfungskette umfasst. Forschung und Industrie sind hier eng und interdisziplinär vernetzt. Indem er die vielfältigen Kompetenzen und Erfahrungen der einzelnen Mitglieder bündelt, können dem Kunden umfassende Problemlösungen angeboten werden. Auf diesem Weg werden Unternehmen fit gemacht für die »Produktion der Zukunft«. Das Fraunhofer IAPT stellt dem Verbund als einen wichtigen Baustein seine Kompetenzen in den Bereichen industrieller und autonomer Lösungen der additiven Produktionstechnologien zur Verfügung.



## ADDITIVE ALLIANCE

### Das Netzwerk wurde für 2020 neu konzipiert

Die Additive Alliance ist der branchenübergreifende Industriearbeitskreis für die additive Produktion des Fraunhofer IAPT. Zur Förderung des Wissensaustauschs wurde das Netzwerk im Jahr 2014 ins Leben gerufen und hat sich seither zu einer relevanten Instanz des 3D-Drucks etabliert. Die regelmäßigen Netzwerktreffen der über 30 Mitglieder fördern den Wissensaustausch aller Stakeholder des 3D-Drucks, um durch langfristige Kooperationen die industrielle Zukunft maßgeblich mitzugestalten.

Um Unternehmen an dieser Gestaltung noch mehr teilhaben zu lassen als bisher, wurde die Additive Alliance in diesem Jahr neu konzipiert. Unternehmen haben ab 2020 die Möglichkeit, Teil eines von drei neu entwickelten Gremien zu werden. In diesen Fachgremien wird entschieden, welches Thema die Forschungsabteilungen des Fraunhofer IAPT untersuchen und in Studien ausarbeiten. Damit werden die Unternehmen sehr stark in die Themenfindung eingebunden und die Additive Alliance entwickelt sich weiter zu einem aktiven Zusammenschluss zukunftsorientierter Unternehmen und ihrer Mitarbeiter. In praxisnahen Workshops erörtern die Mitglieder Inhalte, Umfang und Ziele von Studien und entwickeln neue zukunftsweisende Projekte. Die Studien werden innerhalb der Additive Alliance vorgestellt und teilweise veröffentlicht. Auch individuelle Beratungs- und Entwicklungsleistungen sind, je nach Mitgliedschaft, möglich. Die Additive Alliance ist für alle, die mit ihrem Unternehmen einen entscheidenden Schritt in Richtung additive Zukunft gehen wollen und hierfür ein dynamisches Netzwerk suchen:

- Innovatoren, Visionäre und Networker
- Ingenieure, Designer, Kaufleute und das Management
- Branchenübergreifend: Automotive, Medical, Machinery & Tooling, Ship & Rail, Polymers und Aerospace

Die Additive Alliance bietet Mitgliedern nicht nur relevante Kontakte aus den unterschiedlichsten Bereichen der Wirtschaft und der Forschung, sondern ist ihnen auch kompetenter Partner für zukünftige Projekte. Sie unterstützt gezielt bei der Umsetzung von Industrie- und Forschungsprojekten und erarbeitet Lösungen für gemeinsame Herausforderungen in individuell zugeschnittenen Arbeitskreisen. Regelmäßig stattfindende Veranstaltungen am Fraunhofer IAPT und Netzwerktreffen mit einem anregenden Abend zum Networking in einem von Hamburgs zahlreichen Restaurants runden die Mitgliedschaft ab.

Das Fraunhofer IAPT als Mitglied der international tätigen Fraunhofer-Gemeinschaft zeichnet sich durch sein breites Wissen und weitreichende Erfahrung im Bereich der additiven Fertigung aus. Die Einrichtung hat keinen geringeren Anspruch, als alle unterschiedlichen Fertigungstechnologien zu erfassen und das allgemeine Umfeld der additiven Produktion zu verstehen, um die Industrialisierung des 3D-Drucks voranzutreiben und wesentlich zu beeinflussen. Am Fraunhofer IAPT arbeiten Ingenieure, Wirtschaftswissenschaftler, Informatiker und Naturwissenschaftler interdisziplinär zusammen, um branchenübergreifendes Wissen bereitzustellen. Denn nur mit einer allumfassenden Betrachtung lässt sich Ihre additive Zukunft gestalten.

### KONTAKT

Maximilian Vogt

+49 40 484010-749

maximilian.vogt@iapt.fraunhofer.de



### Neues für die Additive Alliance

Durch das neue Mitgliedschaftsmodell wird der Zugang zu unserem Netzwerk erleichtert und individualisiert. Partizipieren Sie in unseren Gremien und bestimmen Sie die Inhalte der Studien. Nutzen Sie unser Schulungsprogramm der Additive Academy und verbessern Sie so Ihre additiven Skills.

## KOOPERATION HANDELSKAMMER HAMBURG: 3D-DRUCK-NETZWERK

Im Jahr 2018 fand in Kooperation mit dem Fraunhofer IAPT erstmals ein Treffen für 3D-Druck-Anwender und -Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik der Metropolregion Hamburg statt, das auf Initiative der Handelskammer Hamburg zustande gekommen ist. Maßgeblich begleitet durch das Fraunhofer IAPT, werden Spitzentechnologie und Forschung Einsteigern und angehenden Experten nahegebracht. Das Netzwerk wird durch das Fraunhofer IAPT inhaltlich und strategisch begleitet.

Gerade kleinen und mittleren Unternehmen will die Kooperation das entsprechende Rüstzeug an die Hand geben. Das Netzwerk versteht sich v. a. als Austauschplattform und Kompetenzforum für den 3D-Druck in Hamburg und die Metropolregion. Als kostenlose Einstiegsplattform bietet das Netzwerk ein Sprungbrett in das Industrienetzwerk der Additive Alliance.



## KOOPERATION MIT DEM NETZWERK DER DEUTSCHEN BAHN: »MOBILITY GOES ADDITIVE«



Das Fraunhofer IAPT ist u. a. neben der Deutschen Bahn und Siemens Gründungsmitglied im Netzwerk »Mobility goes Additive«. Dieses Netzwerk hat sich im Jahr 2016 zum Ziel gesetzt, die additiven Fertigungstechnologien für den Mobilitätssektor zu erschließen und zu fördern. Inzwischen ist »Mobility goes Additive« eines der weltweit größten und bedeutendsten 3D-Druck-Netzwerke mit mehr als 100 Mitgliedern. Das Fraunhofer IAPT leitet im Netzwerk die Arbeitsgruppe »Education«, in der Aus- und Weiterbildungsstrategien sowie konkrete Maßnahmen entwickelt werden, um die Qualifizierung von Personal im Bereich des 3D-Drucks zu verbessern. Des Weiteren engagiert sich das Fraunhofer IAPT insbesondere in den Arbeitsgruppen »Materials« und »Approval«, um neue Materialien, z. B. mit verbessertem Brandschutz, für den 3D-Druck zu entwickeln und gedruckte Bauteile für den Schienenverkehr zuzulassen.

Als im Jahr 2019 zusätzlich die Netzwerksparte »Medical goes Additive« entstand, war das Fraunhofer IAPT sofort bereit, auch hier die eigene langjährige Erfahrung in der Medizintechnik einzubringen und die Netzwerkpartner mit umfassender Expertise zu unterstützen.



### KONTAKT

Olaf Steinmeier

+49 40 484010-622

olaf.steinmeier@iapt.fraunhofer.de



## KOOPERATION HAMBURGISCHE BEHÖRDE FÜR KULTUR UND MEDIEN IN ZUSAMMENARBEIT MIT DER HANDELSKAMMER HAMBURG UND DEM GERMAN INDIAN ROUND TABLE: INDIA WEEK



Mit 70 verschiedenen Veranstaltungen zu Kultur und Wissenschaft fand vom 28. Oktober bis 3. November die achte »Indienwoche Hamburg« statt. Organisiert wird sie alle zwei Jahre von der Hamburgischen Behörde für Kultur und Medien in Zusammenarbeit mit der Handelskammer Hamburg und dem German Indian Round Table (GIRT), um die deutsch-indische Zusammenarbeit in der Wissenschaft zu stärken. Als Mitglied des GIRT koordinierte Vishnuu Jothi Prakash vom Fraunhofer IAPT einen Teil der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Veranstaltungen zum Thema additive Produktion.

Im Rahmen der deutsch-indischen Zusammenarbeit in Forschung und Entwicklung organisierte das Fraunhofer IAPT zusammen mit DESY einen Vortrag zum Thema »Nano-Material Research using X-Rays and New Possibilities using 3D printing«. Darin wurden Innovationen und die neuesten Vorteile der Additive-Manufacturing-Technologie in der Luft- und Raumfahrt sowie im Automobilssektor vorgestellt.



## BEST PRACTICES IN DER NACHBEARBEITUNG VON AM-BAUTEILEN AUS TI-6AL-4V

Additiv gefertigte Bauteile entsprechen häufig noch nicht den technischen Anforderungen an das Endbauteil, wenn sie aus der Maschine kommen. Die anschließende Nachbearbeitung kann eine ebenso große Herausforderung wie der eigentliche Herstellungsprozess darstellen. Das Fraunhofer IAPT hat sich gemeinsam mit der Aalberts Industries Holding auf den Weg gemacht, dieser Herausforderung zu begegnen.

### Fehlende Standardisierung erschwert den Zugang zur Nachbearbeitung

Die Nachbearbeitung additiv gefertigter Bauteile beginnt mit der Entfernung der Supports und kann je nach Anwendungsfall weitere Schritte wie Wärmebehandlung oder Oberflächenbearbeitung enthalten. Jeder Prozessschritt enthält seine eigenen Herausforderungen: die teils manuelle, komplexe Entfernung von Supports, die Prozessvielfalt in der Oberflächenbearbeitung oder die von konventionell hergestellten Bauteilen so verschiedenen Materialgefüge in der Wärmebehandlung. Dadurch sind bestehende Normen und bekannte Prozessgestaltungen nicht uneingeschränkt auf additiv gefertigte Bauteile übertragbar, was die Orientierung in den einzelnen Anwendungsfällen zusätzlich erschwert.

### Ziele der Kooperation

Das Fraunhofer IAPT hat es sich gemeinsam mit Aalberts Industries zum Ziel gemacht, diesen Mangel an Nachbearbeitungsprozessen, die an additiv gefertigte Bauteile angepasst sind, zu verringern. Konkrete Themen sind hierbei die Verbesserung von Lebensdauereigenschaften sowie die Optimierung von Topologie und Dichte von Bauteilen aus der Legierung Ti-6Al-4V.

Im Bereich der Oberflächenbearbeitung wird die Kombination von chemischem und elektrischem Polieren betrachtet. Hierbei konnten in den ersten Studien sowohl eine Oberflächenverbesserung (Rauheit) von 80 Prozent sowie vollständige automatisierte Supportentfernung während der Oberflächenbehandlung erreicht werden.

Aus der Kategorie der Wärmebehandlung wird das Heiß-Isostatische Pressen (HIP) intensiv untersucht. In einem ersten Schritt werden die Prozessgrenzen hinsichtlich der Porengröße und -anzahl bestimmt. In einem zweiten Schritt sollen an additiv gefertigte Bauteile angepasste Prozessparameter erarbeitet werden, um optimale Ergebnisse auf Basis der feinen lamellaren Materialgefüge zu erzielen.

### Aalberts Industries als Projektpartner

Aalberts Industries ist ein Dienstleister, der in ganz Europa sowie an einigen Standorten in Nordamerika und Asien präsent ist. Das Portfolio umfasst 58 verschiedene Oberflächenbehandlungen, 15 Wärmebehandlungen – von denen einige bereits auf additiv gefertigte Bauteile angewandt werden – sowie verschiedene Beschichtungsverfahren.



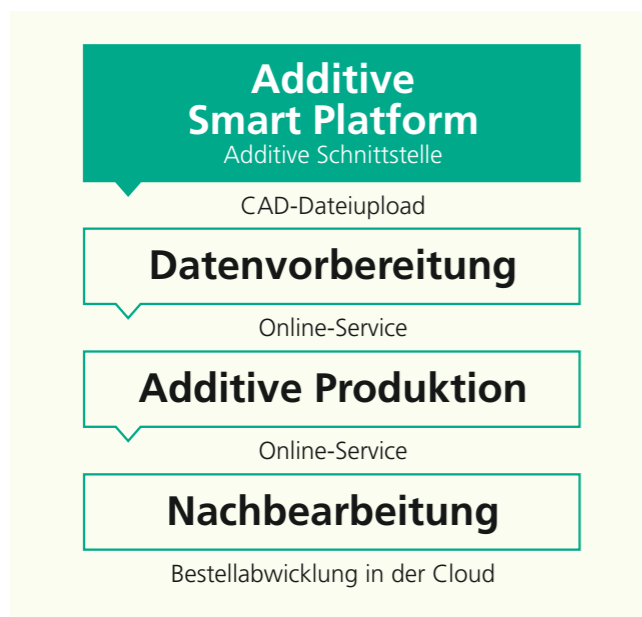


# FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

- 42 Additive Smart Platform für effizienten »Change for Additive«
- 43 Bionisierung für maximalen Kundennutzen
- 44 Automatisierte Bionisierung von additiven »Diamanten«
- 45 Soft-Robotik durch additive Produktion
- 46 Innovatives »Tooling« mittels additiver Werkzeuge
- 47 Ersatzteile aus dem 3D-Drucker – innovative Ersatzteillogistik durch die additive Produktion
- 48 Hybrider 3D-Druck für profitable additive Automobilanwendungen
- 49 Flugsysteme aus dem 3D-Drucker
- 50 Bionic Aircraft
- 52 Profitable Pulverbett-Metallprozesse
- 53 Produktivitätssteigerung von LBM-Prozessen
- 54 Analyse der LBM-Topographie für die robuste additive Produktion
- 55 Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)
- 56 Innovativer Polymer-3D-Druck
- 58 Funktionsgerechte additive Polymere
- 59 Additive Metalle und »Finish«-Bearbeitung
- 60 Profitable DED Systeme durch hochpräzise Prozesssteuerung
- 61 Digitalisierte Automation von DED Prozessen
- 62 Smarte additive Fabriken
- 63 Additive Mobile Factory – One-Stop-Solution
- 64 ShipLight – innovatives Schiffdesign durch automatisiertes 3D-Laser-Hybridfügen
- 68 Qualitätssicherung und Zertifizierung
- 70 Additive Quality Manager
- 71 Ökologische Nachhaltigkeit durch additive Produktion

# ADDITIVE SMART PLATFORM FÜR EFFIZIENTEN »CHANGE FOR ADDITIVE«

## ADDITIVE POTENZIALBEWERTUNG UND AUFTRAGSABWICKLUNG IN DER CLOUD



Dienstleister im Bereich der additiven Fertigung sehen sich mit agilen Angebotssituationen konfrontiert. Insbesondere im Bereich des Rapid Prototyping ist eine schnelle Fertigung unabdingbar, um nicht von Konkurrenten vom Markt verdrängt zu werden. Dabei fehlt bei Kunden häufig das Verständnis für die komplexen unterschiedlichen additiven Fertigungsprozesse und deren Einfluss auf die Konstruktionsempfehlungen für Bauteile oder eine Potenzialabschätzung im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren. Es besteht daher eine Nachfrage nach einer Plattformlösung, die den kompletten Auftragsabwicklungsprozess von der Kundenanfrage über den Webbrowser bis zur Auslieferung des gefertigten Bauteils an den Kunden beschleunigt und die Bauteile automatisiert auf die Einhaltung von Fertigungsrestriktionen und das Potenzial der additiven Fertigung überprüft.

Das Fraunhofer IAPT entwickelt eine solche Lösung seit mehreren Jahren. Mit der Smart Platform ist eine Cloud-Plattform entstanden, die es ermöglicht, Potenziale in der additiven Fertigung zu identifizieren und zu erschließen. Der Kunde lädt dazu sein Bauteil über den Webbrowser hoch. Anschließend wird dieses automatisch auf Fertigungsrestriktionen und Konstruktionsrichtlinien der additiven Fertigung geprüft und eine Angebotskalkulation erstellt. Die implementierten Algorithmen optimieren dazu die Ausrichtung der Bauteile und die Auslastung der Bauplattform, um die bestmögliche Qualität bei geringstmöglichen Kosten zu gewährleisten. Daraufhin kann der Kunde über die Plattform einen Fertigungsauftrag abgeben und die komplette Bestellabwicklung über die Cloud verfolgen.

Zur Bewertung des wirtschaftlichen Potenzials eines Bauteils und damit zur Beantwortung der Frage, ob eine additive Fertigung wirtschaftlich sinnvoll ist, können mit der Plattform zudem Optimierungspotenziale (z. B. Leichtbaupotenziale durch eine Topologieoptimierung) im Vorhinein abgeschätzt werden. Des Weiteren kann eine Vergleichskalkulation zu den konkurrierenden Fertigungsverfahren Zerspanung und Guss gezogen werden. Über diese Vergleichskalkulation lassen sich Bauteile mit wirtschaftlich sinnvollen Business Cases für die additive Fertigung identifizieren.

### KONTAKT

Fritz Lange

+49 40 484010-766

fritz.lange@iapt.fraunhofer.de



# BIONISIERUNG FÜR MAXIMALEN KUNDENNUTZEN

## MULTIPHYSIKALISCHE TOPOLOGIEOPTIMIERUNG MIT »MOONBEAM«

### Multiphysikalische Optimierung

Topologieoptimierung ist eines der mächtigsten Werkzeuge, um das Potenzial eines Bauteils voll auszuschöpfen. Klassischerweise wird hierbei das Bauteilgewicht im Designprozess reduziert, indem Material entfernt wird, das nur wenig zur Bauteilsteifigkeit beiträgt.

Die bionisch wirkenden Ergebnisse lassen sich häufig nicht mehr mit konventionellen Verfahren wie Drehen oder Fräsen herstellen. Die additive Fertigung hingegen kann hier ihre Stärken voll ausspielen. Zudem ist die Optimierung nicht auf die Zielgrößen Steifigkeit und Masse begrenzt.

Im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojekts FutureAM forscht das Fraunhofer IAPT an neuen Optimierungsalgorithmen für additiv gefertigte Bauteile. So werden Fertigungsrestriktionen wie steile Überhangwinkel oder zu dünne Wände bereits in der Optimierung vermieden. Des Weiteren wird die wenig erforschte multiphysikalische Topologieoptimierung erschlossen. Diese Methode geht über die Möglichkeiten verfügbarer Software hinaus und erlaubt es, verschiedenste physikalische Effekte, wie Wärmeübertragung oder Strömungsmechanik, ebenfalls in die Optimierung einzubeziehen oder gar miteinander zu kombinieren.

Auf diese Weise lassen sich nicht nur Leichtbaukomponenten designen, sondern auch kompakte Kühlelemente, leistungsfähige Wärmetauscher und verlustarme, komplexe innen liegende Flüssigkeitskanäle. Die so entwickelten Bauteile können überall dort Einsatz finden, wo Kompaktheit, Leichtbau und hohe Funktionalität gefordert sind, wie bspw. in der Luft- und Raumfahrt, im Automobil- oder im Sondermaschinenbau.

### Automatisierung des Designprozesses

Um die neuartigen Algorithmen und Modelle nutzbar zu machen, entwickelt das Fraunhofer IAPT ein Softwareframework, mit dem sich komplexe Optimierungsaufgaben im Designprozess automatisieren lassen. Die Funktion bestimmt das Design, die Algorithmen stellen die Fertigbarkeit der Komponenten sicher.

Über das Softwareframework entwickelt das Fraunhofer IAPT binnen kürzester Zeit maßgeschneiderte Optimierungssapps für Anwendungen in der Industrie. Diese umfassen u. a.:

- Klassische Steifigkeits- und Leichtbauoptimierung
- Wärmeleitungs- und Wärmeübertragungsoptimierung von bspw. Kühlkörpern und Wärmetauschern
- Strömungsoptimierung von bspw. Hydraulik- und Pneumatikkomponenten
- Multiphysikalische Optimierungen von bspw. Werkzeugeinsätzen

Verpackt in anwenderfreundlichen Applikationen, werden auf diese Weise Designprozesse bei voller Ausnutzung des Potenzials der additiven Fertigung beschleunigt. Es entstehen High-Performance-Bauteile bei einfacher Anwendbarkeit, kürzeren Designphasen und geringeren Kosten.

### KONTAKT

Fritz Lange

+49 40 484010-766

fritz.lange@iapt.fraunhofer.de



# AUTOMATISIERTE BIONISIERUNG VON ADDITIVEN »DIAMANTEN«

# SOFT-ROBOTIK DURCH ADDITIVE PRODUKTION

## AUTOMATISIERTE TOPOLOGIEOPTIMIERUNG FÜR EIN ADDITIV OPTIMIERTES KÜHLKÖRPERDESIGN



### Part Screening

Das Fraunhofer IAPT besitzt eine umfassende Historie bei dem Auffinden von wirtschaftlichen Anwendungen für die additive Fertigung. Aus diesem Grund automatisiert und industrialisiert das Fraunhofer IAPT das Part Screening und identifiziert auf diese Weise immer neue Anwendungen für den 3D-Druck – die »additiven Diamanten«. Einen solchen Diamanten stellen Kühlkörper für die Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie dar, die besonders hohe Anforderungen an das Systemgewicht und den Bauraum stellen. Auf engstem Raum müssen große Mengen an thermischer Verlustleitung abgeführt werden, um bspw. die Performance und Lebensdauer von elektronischen Komponenten zu steigern.

### Automatische Optimierung

Die Optimierung von Kühlkörpern durch Simulation ermöglicht es, das beste Design für einen spezifischen Anwendungsfall zu finden. In diesem Kontext ist insbesondere die Topologieoptimierung eine interessante Methode, da sie einen vollständig

funktionsgesteuerten Ansatz darstellt. So wird etwa bei einer Wärmeleitungsoptimierung Material lediglich an den Stellen angelegt, wo es für die optimale Verteilung und Abfuhr von Wärme notwendig ist. Das Fraunhofer IAPT automatisiert diese Optimierungsprozesse und verpackt sie in anwendungsspezifische Apps.

Dadurch entstehen innovative bionische Designs, die ein enormes Leichtbaupotenzial eröffnen. Ein Problem stellt dabei häufig die Fertigbarkeit dieser komplexen Strukturen dar – ein prädestinierter Anwendungsfall für die additive Fertigung. Der werkzeuglose, schichtweise Aufbau im additiven Fertigungsverfahren ermöglicht die effiziente und ressourcensparende Herstellung der diffizilen optimierten Strukturen, die anders nicht umsetzbar wären.

Dabei kommt die teilweise raue Oberflächengüte des Verfahrens des selektiven Laserstrahlschmelzens der Anwendung noch zugute: Eine hohe Oberflächenrauigkeit sorgt neben der Vergrößerung der Gesamtoberfläche für eine Verstärkung der oberflächennahen Turbulenz, was die Wärmeübertragung noch zusätzlich verbessert.

Auf diese Weise lassen sich eine Gewichtsersparnis von rund 35 Prozent und eine Bauraumverkleinerung von ca. 40 Prozent im Vergleich zum konventionellen Design erreichen. Zudem ermöglicht das neue Design, die Anzahl der Einzelkomponenten und damit den Montageaufwand erheblich zu reduzieren.

### KONTAKT

Fritz Lange

+49 40 484010-766

fritz.lange@iapt.fraunhofer.de



## VERSCHLEISSARME GELENKVERBINDUNGEN DANK NACHGIEBIGER MECHANISMEN



Flexible, stoffschlüssige Verbindungen (engl.: compliant mechanisms) haben viele Vorteile gegenüber mehrteiligen Verbindungssystemen, die heute noch der Standard sind. Additive Produktionstechnologien eröffnen neue Möglichkeiten, diese Vorteile im Design von Produkten zu nutzen.

### Die Natur macht es vor

Technische Gelenkverbindungen sind im Normalfall mehrteilige Systeme, die einer ansonsten steifen Struktur einen bestimmten Bewegungsspielraum ermöglichen. Wirft man einen Blick in die Biologie, wird schnell deutlich, dass sich hier andere, wesentlich flexiblere Lösungsansätze entwickelt haben. Neben den ermöglichten Bewegungen können solche Systeme weitere Funktionen haben, die bspw. als Energiespeicher oder zur Stoßdämpfung dienen. Die additive Fertigung eröffnet großen gestalterischen Freiraum, um Geometrien mit diesen speziellen Eigenschaften nachbilden zu können. Zusätzlich können abhängig vom Verfahren auch verschiedene Materialien gleichzeitig verarbeitet oder Materialeigenschaften lokal eingestellt werden. Dies eröffnet neue Möglichkeiten, flexible, hochintegrierte Systeme zu entwerfen.

### Das Potenzial flexibler Verbindungen

Der Einsatz flexibler Materialien ermöglicht es, Baugruppen zu reduzieren und ursprünglich separate Bauteile ohne den Einsatz zusätzlicher Verbindungselemente beweglich miteinander zu

verbinden. Bei dieser Art von Verbindungen entfällt nicht nur die Montage: Sie vermeiden auch die Reibung zwischen Bauteilen und die daraus resultierenden Probleme wie Vibrationen, Lärmentwicklung oder die Freisetzung von Kleinstpartikeln. Ein zusätzlicher Vorteil ergibt sich dadurch, dass keine Schmierstoffe notwendig sind. Das macht flexible Verbindungen u. a. besonders geeignet für den Einsatz im klinischen Bereich.

### Flexible Strukturen in der Anwendung

Das Prinzip der flexiblen Mechanismen nutzen die Wissenschaftler am Fraunhofer IAPT z. B. dazu, die Einsatzmöglichkeiten von Inspektionsdrohnen bei der Wartung von Windenergieanlagen zu erweitern. Einige Untersuchungen erfordern direkten Kontakt mit der Anlage. Ein flexibler, adaptiver Mechanismus soll die Kontaktaufnahme möglich machen. Ein konkretes Beispiel ist der dargestellte Greifer, ein Konzept, das im Rahmen des Projekts »InspectionCopter« (FKZ: 16KN069937) entstanden ist. Die zentrale Struktur des Greifers dient nicht nur der Stoßdämpfung bei der Kontaktaufnahme. Wird die Struktur komprimiert, schließen sich automatisch die Greifbacken. Die gespeicherte kinetische Energie öffnet den Greifer wieder, sobald die Struktur nicht mehr belastet ist.

Gefördert vom



### KONTAKT

Felix Weigand

+49 40 484010-652

felix.weigand@iapt.fraunhofer.de



# INNOVATIVES »TOOLING« MITTELS ADDITIVER WERKZEUGE

## INNOVATIVER WERKZEUGEINSATZ FÜR DIE VERARBEITUNG VON EPP\*

\*Expandiertes Polypropylen

Eine der größten Herausforderungen im Werkzeugbau betrifft das Kühlungsverhalten. Durch die additive Fertigung ist es möglich, dieses zu optimieren und somit einen immensen Fortschritt in dieser Branche zu schaffen. Im Rahmen des durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekts LaEPPFo (Laseradditiv hergestelltes EPP-Formwerkzeug) wurde durch die Projektpartner Werkzeugbau Siegfried Hofmann GmbH, die WSVK Oederan GmbH und das Fraunhofer IAPT ein revolutionäres Werkzeugkonzept für die Partikelschaumverarbeitung entwickelt.

### Prozess der EPP-Verarbeitung

Bei der Herstellung von EPP-Bauteilen werden in einer Kavität befindliche Schaumperlen mit heißem Wasserdampf zusammengeschmolzen. Nachdem das Werkzeug auf die Entformungstemperatur abgekühlt ist, kann das Bauteil entnommen werden.

### Herkömmliche Herstellung des Werkzeugs

Konventionell erfolgt die Fertigung des Werkzeugs durch die spanende Bearbeitung eines Aluminiumblocks, das nachträgliche Einbringen von Dampfdüsen sowie durch die Erzeugung der gewünschten Oberflächenstruktur. Hierbei wird nur dort Material abgetragen, wo es notwendig und auch wirtschaftlich ist. Dadurch entsteht ein voluminöses Bauteil, das für den erforderlichen Aufwärm- und Abkühlprozess viel Energie und Zeit benötigt.

### Potenzialerschließung durch additive Fertigung

Durch die Nutzung der additiven Fertigung können die oben genannten Fertigungsschritte kombiniert werden. Zusätzlich

können die Dampfdüsen optimiert platziert und kann die Oberflächenstruktur direkt integriert werden.

### Vorteile des neuartigen Werkzeugs

Durch additive Fertigung konnte das Werkzeuggewicht um 95 Prozent (130 Kilogramm zu 6,7 Kilogramm) reduziert werden. Das Werkzeug besteht zudem aus Stahl, wodurch die Verschleißfestigkeit und Lebensdauer deutlich erhöht werden kann. Weiterhin konnten durch das neuartige Design und die Materialeinsparung der Dampfverbrauch um 97 Prozent und die Zykluszeit um fast 50 Prozent reduziert werden, wodurch die Produktivität zukünftig massiv ansteigt und gleichzeitig große Mengen Energie eingespart werden können.

### Industrialisierung des Konzepts

Die Firma Hofmann hat nach dem Erfolg dieses Projekts in Quartal 3 und 4 (2018) über 400 weitere Werkzeugeinsätze nach diesem Vorbild für die Partikelschaumverarbeitung hergestellt. Neben Werkzeugen für die EPP-Verarbeitung verhilft die additive Fertigung auch bei anderen Technologien wie z. B. beim Spritzgießen zu derartigen Vorteilen.

Gefördert vom



### KONTAKT

Nora Jaeschke

+49 40 484010-629

nora.jaeschke@iapt.fraunhofer.de



# ERSATZTEILE AUS DEM 3D-DRUCKER – INNOVATIVE ERSATZTEILLOGISTIK DURCH DIE ADDITIVE PRODUKTION

## EFFIZIENTE BAUTEILDIAGNOSTIK FÜR EINE OPTIMALE ERSATZLOGISTIK UND -HERSTELLUNG



→ **Abbildung:** additiv hergestellte Welle

In der heutigen Zeit, wo die Variantenvielfalt zunimmt und die Produktzyklen immer kürzer werden, müssen diverse Ersatzteile über Jahre auf Lager gehalten werden. Die wachsende Anzahl der Bauteile hat hohe Kosten in Form von gebundenem Kapital zur Folge. Im Zweifel werden die Ersatzteile nicht benötigt, müssen aber aufgrund verschiedener Aspekte produziert und gelagert werden, was nicht nur die Kosten in die Höhe treibt, sondern auch die Umwelt beeinträchtigt. Hier kann die additive Fertigung helfen und optimieren. Durch die Verwendung der Technologie können Lagerbestände reduziert und somit Kosten eingespart werden. Des Weiteren ist es möglich, Bauteile schnell und dezentral auf der ganzen Welt zur Verfügung zu stellen.

### Ortsunabhängige Bereitstellung von Teilen

Für die Fertigung der Bauteile ist lediglich eine CAD-Datei vonnöten, die anstelle des physischen Bauteils »gelagert« wird. Auf Basis dieser Datei können Bauteile zu jeder Zeit an jedem Ort – sei es in der Wüste, auf dem Mond oder auf einem Containerschiff – hergestellt werden.

### Ersatzteile am Fraunhofer IAPT

Wir am Fraunhofer IAPT beschäftigen uns insbesondere mit der Identifikation geeigneter Bauteile für die additive Ersatzteilproduktion. Dabei müssen wirtschaftliche und fertigungsbedingte Aspekte im Detail betrachtet werden, um die Sinn-

haftigkeit bewerten zu können. Einige bestimmte Charakteristika von Bauteilen können aber bei der Vorauswahl helfen. Würde ein defektes Bauteil bspw. zu langen Ausfallzeiten führen und somit hohe Opportunitätskosten verursachen, bietet die additive Produktion die perfekte Lösung, indem sie nicht nur für schnelle Verfügbarkeit sorgt, sondern auch Ersatzteile nachbildet, die auf dem Markt nicht mehr erhältlich sind. Ferner lohnt es sich, auf Bauteile, die hohe Bestandskosten bedingen oder nur für eine einzelne Maschine bevorratet werden, einen zweiten Blick zu werfen. Ein weiterer üblicher Fall für den Einsatz von 3D-Druck in der Ersatzteilbranche besteht, wenn ein Bauteil nicht einzeln beschaffbar ist. In der Abbildung ist eine additiv hergestellte Welle, die in Lasttrennschaltern verbaut wird, dargestellt. Diese Welle, die zumeist für den Funktionsausfall des Schalters verantwortlich ist, kann nur durch den Kauf der gesamten Baugruppe erworben werden. Dieser Umstand hat den 3D-Druck für die Bereitstellung der Bauteile attraktiv gemacht. Anstelle der Lagerung der gesamten Baugruppe wird lediglich die Welle bei Bedarf additiv hergestellt. Dadurch konnten zum einen die Lagerkosten reduziert werden (kleineres Bauteil und bei Bedarf fertigbar), zum anderen konnten die Verschleißigenschaften durch einen Materialwechsel (Metall statt Kunststoff) und Anpassung des Designs verbessert werden. Zusätzlich sind die Herstellungskosten der »neuen« Welle deutlich geringer als der Einkauf der Gesamtbaugruppe.

### KONTAKT

Nora Jaeschke

+49 40 484010-629

nora.jaeschke@iapt.fraunhofer.de





# HYBRIDER 3D-DRUCK FÜR PROFITABLE ADDITIVE AUTOMOBILANWENDUNGEN

## ADDITIVER SPACEFRAME FÜR DIE AUTOMOBILE ZUKUNFT

### Next Generation Spaceframe 2.0 (NGSF 2.0)

Im Projekt Next Generation Spaceframe 2.0 wurde gemeinsam mit den Partnerfirmen EDAG, Siemens PLM Software, Constellium, Concept Laser und der BLM Group eine neuartige hybride Aluminium-Vorderwagenstruktur entwickelt, die lastgerecht ausgelegte und individuell gefertigte Hohlkammerprofile mit topologieoptimierten und 3D-gedruckten Aluminiumknoten verbindet. Diese neuartige Bauweise ermöglicht eine flexible Reaktion auf verschiedene Antriebs- und Bauraumkonzepte und bietet so stets den optimalen Leichtbau sowie ein funktionsgerechtes Design. Durch den Entfall investitionsintensiver Werkzeugformen ist so bei kleinen und mittleren Stückzahlen eine wirtschaftliche Bauweise durch hybride AM-Gestaltung möglich. Erstmals wurde in der Entwicklung eine Software für ein durchgängiges Engineering der additiv gefertigten Karosserieknoten und der Aluminium-Strangpressprofile eingesetzt und diese bionische Konstruktion in der Simulation validiert.

Nur durch die gefügte Bauweise aus kostengünstigen Profilen und hochintelligenten AM-Bauteilen lässt sich der Zielkonflikt aus maximaler Funktionserfüllung und Wirtschaftlichkeit realisieren. Im Projekt wurden verschiedene Verbindungen des Spaceframes durch Laserstrahlschweißen, Lichtbogenschweißen sowie Kleben gefügt. Dabei wurde mithilfe intelligenter Steckverbindungen der Vorrichtungsbaup auf ein Minimum reduziert. Im Fallturmtest konnte die hybride Struktur ihre Eignung auch im Crashfall unter Beweis stellen.



→ **Abbildung:** Next Generation Spaceframe 2.0 – flexible Vorderwagenstruktur in hybrider Bauweise (Quelle: EDAG)

Ein gemeinschaftliches Innovationsprojekt mit den Partnern:



### KONTAKT

Frank Beckmann

+49 40 484010-620

frank.beckmann@iapt.fraunhofer.de



# FLUGSYSTEME AUS DEM 3D-DRUCKER

## [S]LS-GEFERTIGTER [QU]ADROCOPTER MIT [IN]TEGRIERTER ELEK[TRON]IK (SQULNTRON)



→ **Abbildung:** SQulnTron

Das Selektive Lasersintern (SLS) ist ein Verfahren aus dem Bereich der additiven Produktion, bei dem zunächst eine Schicht eines Kunststoffpulvers mit einer typischen Schichtstärke von 120 Mikrometern auf eine Bauplattform aufgetragen wird. Über die Belichtung mit einem CO<sub>2</sub>-Laser kann diese entsprechend der Bauteilkontur aufgeschmolzen und anschließend verfestigt werden. Durch das Wiederholen dieses Vorgangs lassen sich so Schicht für Schicht nahezu beliebige Bauteilstrukturen aufbauen. Das SLS-Verfahren bietet den Vorteil, dass Bauteile mit komplexer Geometrie in geringer Stückzahl wirtschaftlich gefertigt werden können.

An der Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT wird an Weiterentwicklungen des SLS-Verfahrens geforscht, mit dem Ziel, den Funktionalisierungsgrad von Bauteilen durch neue Materialien und Designs zu erhöhen. Ein Ansatz ist das Funktionalisieren von SLS-Bauteilen mit elektrischer Leitfähigkeit. Dazu wird ein spezielles Material verwendet, das im Anschluss an den Druckprozess oberflächlich selektiv metallisiert werden kann, womit die Herstellung von Leiterbahnen aus metallischem Kupfer möglich wird. Ein Weg, diese selektive

Metallisierung umzusetzen, ist die Aktivierung der Oberfläche eines Bauteils mit einem Laserstrahl. Dazu wird der Laserstrahl entsprechend dem gewünschten Leiterbahnbild über die Oberfläche des Bauteils geführt. Bei der anschließenden chemischen Metallisierung setzt sich das abgeschiedene Kupfer lediglich an den aktivierten Flächen ab, die dadurch elektrisch leitfähig werden. Die nicht aktivierten Bereiche bleiben elektrisch isolierend. Das Verfahren wurde bisher nur an einfachen Probekörpern umgesetzt und am SQulnTron erstmals in einer konkreten Anwendung zum Einsatz gebracht.

Ziel des SQulnTron-Projekts war es, Erkenntnisse über die Herausforderungen dieses Ansatzes in der Praxis zu gewinnen. Im Zuge dessen wurde der WiFree-Copter von Open DIY Projects verwendet und zum SQulnTron weiterentwickelt. Der Anspruch dabei war es, einen möglichst großen Anteil konventioneller Kabel durch integrierte galvanisch verstärkte Leiterbahnen zu ersetzen. Der SQulnTron ist voll flugfähig und verfügt über eine Fernsteuerung durch ein Tablet, das mit der integrierten Kamera verbunden ist.

Gefördert vom



### KONTAKT

Lennart Waalkes

+49 40 484010-762

lennart.waalkes@iapt.fraunhofer.de



## BIONISCHES DESIGN NEUER ULTRALEICHTSTRUKTUREN

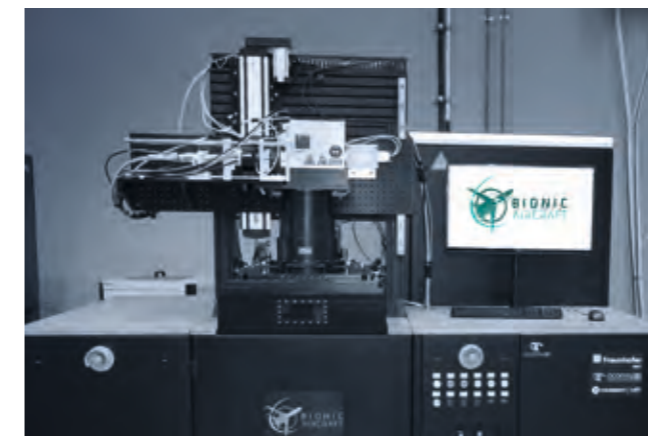
Das übergeordnete Ziel des vom Fraunhofer IAPT koordinierten EU-Forschungsvorhabens »Bionic Aircraft« ist es, einen Beitrag zur Ressourceneffizienz der Luftfahrt über den gesamten Flugzeuglebenszyklus durch Nutzung additiver Fertigung zu leisten, denn die additive Fertigung eröffnet vollkommen neue Möglichkeiten bei der Konstruktion von Leichtbaustrukturen. Zudem bietet sie die Möglichkeit einer flexiblen und ressourceneffizienten Produktion von geometrisch hochkomplexen Teilen. Mit der Einführung hochfester Aluminiumlegierungen wird eine weitere Gewichtseinsparung möglich.



Eine große Herausforderung in der heutigen AM-Fertigungskette ist der zeitaufwendige und teure Konstruktionsprozess für bionisch optimierte Teile. Die hohen Kosten für die Entwicklung und Herstellung bionisch optimierter Teile verhindern in vielen Fällen den Einsatz von AM in der Fertigung von Flugzeugkomponenten, sodass das Potenzial zur Einsparung von Energie und Ressourcen im Lauf des Flugzeuglebenszyklus nicht genutzt wird. Ein wesentliches Ziel des Projekts ist es daher, einen automatisierten und vereinfachten Designprozess für biomimetische Leichtbaustrukturen bei Wahrung der strukturellen Integrität der Komponenten zur Verfügung zu stellen. Das Fraunhofer IAPT hat hier zwecks Minimierung des Materialeinsatzes bionische Supports sowie einen Katalog parametrisierbarer bionischer Leichtbauelemente entwickelt. Diesen nutzt die Firma CENIT zur Entwicklung eines Softwaremoduls, das im Zuge der Designerstellung automatisch bionische Elemente in die Bauteilkonstruktion einfügt. Mit der Integration des Designprozesses in die kommerzielle 3D-CAD-Software (CATIA V5) wird CENIT erstmals den gesamten Designprozess von der Teilekonstruktion über die Baujobvorbereitung und Fertigung bis zur Nachbearbeitung durchgängig in einer Software abbilden. Die Software soll zukünftig im Designprozess bei der Firma Airbus eingesetzt werden.

Aufseiten der Prozesstechnik entwickelt das Fraunhofer IAPT geeignete Fertigungsparameter für das Laserstrahlschmelzen einer neuartigen Al-Si-Sc-Legierung, die im wärmebehandelten Zustand Zugfestigkeiten bis zu 550 MPa bei einer Dehnung von fünf bis sieben Prozent verspricht. Die Firma TEKNA trägt zu einer Erhöhung der Wertschöpfung bei, indem sie recycelte Al-Si-Sc-Pulver in einem Plasma-Sphäroidierprozess aufbereitet und dem AM-Fertigungsprozess wieder zugänglich macht.

Im Sinne einer Erhöhung der Produktivität des Druckprozesses erarbeitet das Fraunhofer IAPT optimierte Laserstrahlintensitätsprofile. Anhand einer innovativen 2D-Simulation des Schmelzbads konnte gezeigt werden, dass mit einem M-Profil eine deutlich homogenere Schmelzbadausprägung und eine höhere Produktivität des Prozesses zu erwarten sind. Ein für das Bionic-Aircraft-Projekt eigens entwickelter Prüfstand dient zur experimentellen Validierung der Modelle. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Nutzung eines M-Profiles im Vergleich zum klassischen Gauß-Profil bei gleicher Bauteildichte eine Produktivitätssteigerung um 30 Prozent und eine Steigerung der Energieeffizienz um 35 Prozent möglich sind.



Weitere innovative Aspekte des Projekts sind die Entwicklung von Prüfsystemen zur Überwachung der Bauteilintegrität während des Druckprozesses einerseits sowie zur Defekterkennung bei Bauteilen im Einsatz andererseits. Hierzu entwickelt die Firma HEXAGON geeignete innovative, zerstörungsfreie Prüfmethoden, die am Fraunhofer IAPT validiert werden. Unser Partner TECNALIA erarbeitet eine Simulation zur Lebensdauerprognose basierend auf dem tatsächlichen Bauteilzustand und den Defekten. Ebenso entwickelt und validiert TECNALIA kostengünstige Reparatur- und Recyclingverfahren für die hergestellten Komponenten. Ziel ist es hier, großvolumige Defekte ohne Beeinträchtigung des Gefüges bzw. der Mikrostruktur und der mechanischen Eigenschaften auszubessern und anhand

repräsentativer komplexer Geometrien zu validieren. Zusätzlich ist das Recycling von ALM-Pulvern und -Teilen zur Herstellung hochwertiger Pulver geplant.



Durch die Einführung der bionischen Designs und der neuartigen hochfesten Aluminiumlegierung konnte das Gewicht der im Projekt entwickelten Demonstratoren um bis zu 40 Prozent reduziert werden. Neben dem großen Gewichtseinsparpotenzial kann durch die additive Fertigung und das Recycling von Pulvern und Bauteilen der Materialabfall im Vergleich zur klassischen spanabhebenden Bearbeitung um bis zu 90 Prozent gesenkt werden. Die Gewichts- und Abfallreduzierung durch die Einführung von AM birgt somit eine große Chance zur Minimierung von CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen im Laufe eines Flugzeuglebenszyklus.

Gefördert von



### KONTAKT

Dr. Philipp Imgrund

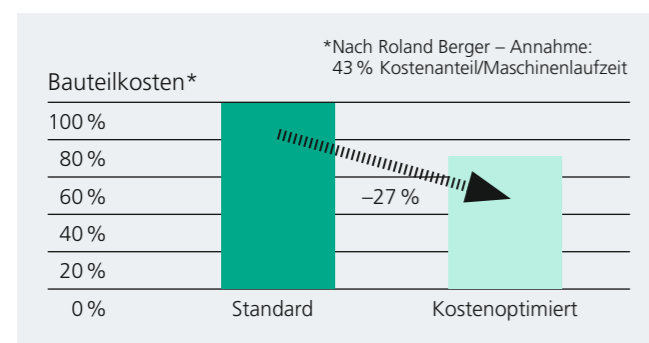
+49 40 484010-740

philipp.imgrund@iapt.fraunhofer.de



## PRODUKTIVITÄTSSTEIGERUNG FÜR DAS SELEKTIVE LASERSTRAHLSCHMELZEN (SLM, LBM)

Der 3D-Druck durch selektives Laserstrahlschmelzen hat sein großes Anwendungspotenzial in verschiedenen Branchen bereits unter Beweis gestellt. Durch gänzlich neue Gestaltungsmöglichkeiten, ausgezeichnete Materialeigenschaften sowie eine hohe Fertigungsflexibilität konnten neue Funktionen und bisher unerreichte Leichtbaugrade erfolgreich in die Kleinserie überführt werden. Der Sprung in mittlere Serien ist bisher jedoch noch nicht gelungen. Der ausschlaggebende Grund hierfür sind die aktuell noch zu hohen Kosten. Etwa 40 bis 70 Prozent dieser Kosten resultieren aus den Maschinenkosten, d. h. konkret der bisher eingeschränkten Produktivität des Prozesses multipliziert mit den Maschinenstundensätzen. Am Fraunhofer IAPT werden deshalb Prozesse entwickelt, die individuell auf den



jeweiligen Kunden zugeschnitten sind und einen kostengünstigen Fertigungsprozess abbilden. Dies wird durch eine Vielzahl von Projekten untermauert, bei denen bspw. alternative Laserstrahlprofile oder neuartige Laserquellen verwendet wurden und die Prozesse hinsichtlich der resultierenden Bauteileigenschaften – und nicht auf die Bauteildichte – optimiert wurden. Letzteres wurde bspw. anhand einer Stahllegierung durchgeführt, bei der die Prozessgeschwindigkeit mit Bauteilen mit einer Dichte > 99,5 Prozent um 160 Prozent gegen-

über Prozessparametern mit einer resultierenden Dichte von > 99,9 Prozent gesteigert werden konnte. Häufig reichen solche Dichtewerte den Endanwendern bereits aus, um die jeweiligen Anforderungen zu erfüllen. Die Kostenersparnis liegt bei dem aufgezeigten Fallbeispiel bei etwa 27 Prozent. Darüber hinaus versetzt die vorhandene Prozessexpertise in Verbindung mit neuartigen Steuerungsmöglichkeiten das Fraunhofer IAPT dazu in die Lage, Bauteilen durch intelligente Prozessführung anforderungsspezifische Materialeigenschaften zuzuweisen. So ist es möglich, bei Bauteilen belastungsabhängig unterschiedliche Festigkeitsbereiche einzustellen und dadurch noch komplexere Geometrien zu realisieren.

Die hohe Diversität vorhandener Laserstrahlschmelzanlagen und der tägliche Umgang der Mitarbeiter mit den Systemen ermöglichen die Entwicklung von speziell auf den Kunden zugeschnittenen Systemkomponenten. Bspw. kann auf Kundenwunsch eine Strömungsanalyse der eigenen Anlage durchgeführt werden, der Gasstrom kann optimiert werden, neue Strömungskomponenten können gefertigt und beim Kunden eingesetzt werden. Durch eine optimierte Gasströmung gelingt es auch, prozessinhärente Störungen zu vermeiden, höhere Aufbauraten zu generieren und eine hohe Reproduzierbarkeit des Prozesses zu gewährleisten. Unseren Experten gelingt es somit, ihren Partnern und Kunden kostengünstigere und mechanisch-technologisch optimierte Bauteile anzubieten sowie die eigenen Anlagensysteme zu optimieren, um eine höhere Reproduzierbarkeit und Profitabilität zu realisieren.

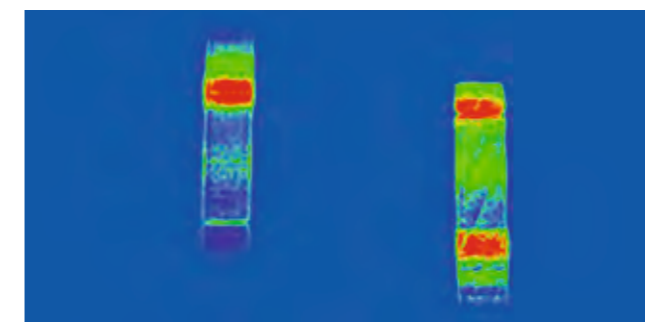
**KONTAKT**  
 Philipp Kohlwes  
 +49 40 484010-745  
 philipp.kohlwes@iapt.fraunhofer.de



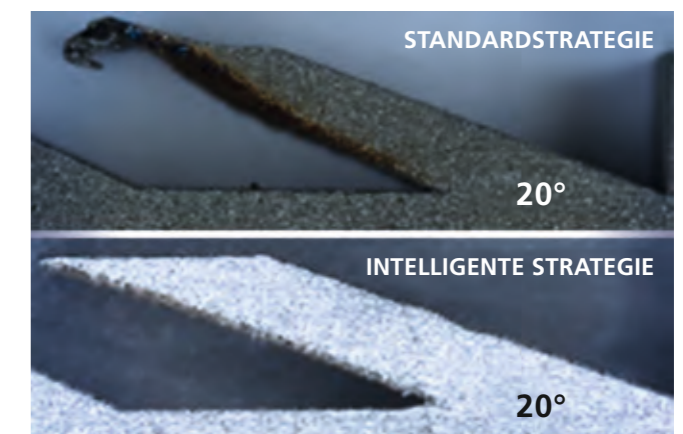
## INTELLIGENTE SCANSTRATEGIEN

Durch das selektive Aufschmelzen des Pulverwerkstoffs entsteht in der pulverbettbasierten laseradditiven Fertigung überschüssige Wärme, die zum Großteil über das bereits gefertigte Bauteil abgeführt wird.

Die thermischen Bedingungen während des Aufschmelzens und Erstarrens beeinflussen sowohl die Makro- als auch die Mikrostruktur und somit die mechanischen Eigenschaften. Sowohl geometrische Gestaltungen des Bauteils wie Verjüngung und Überhänge als auch Prozessparameter wie Laserleistung und Scangeschwindigkeit sowie die Belichtungsstrategie bestimmen die lokalen thermischen Bedingungen.



Im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte ermittelte das Fraunhofer IAPT den Einfluss der thermischen Bedingungen auf die Bauteileigenschaften und entwickelte optimierte Prozessführungsstrategien. Durch Simulationen des Wärmeflusses während des Bauprozesses wurde zusammen mit dem ISEMP aus Bremen eine spezifische Belichtungsstrategie entwickelt, mit der die Oberflächenrauheit von Überhangstrukturen mit einem Winkel zur Substratplatte von 30 Grad um 45 Prozent reduziert wurde. Darüber hinaus ermöglichte es die intelligente Scanstrategie, Überhangstrukturen mit einem Winkel von 20 Grad zu generieren, ohne Stützstrukturen zu verwenden.



Die Abhängigkeit der Morphologie von Defekten sowie der resultierenden mechanischen Eigenschaften bei dynamischen Beanspruchungen von den thermischen Bedingungen wurde durch  $\mu$ -CT-Aufnahmen und Dauerschwingversuche analysiert. In Zusammenarbeit mit dem WPT der TU Dortmund wurde gezeigt, dass bei ungeeigneten thermischen Bedingungen die Morphologie der Restporosität unregelmäßig ist. Unregelmäßig geformte Poren führen zu einem frühzeitigen Versagen bei dynamischen Beanspruchungen. Durch eine geeignete Prozessführung wurden die thermischen Bedingungen derart beeinflusst, dass die Restporosität vornehmlich eine kugelförmige Morphologie aufwies. Diese Veränderung wirkte sich positiv auf die mechanischen Eigenschaften aus. Neben einer deutlichen Erhöhung der Lebensdauer bei Dauerschwingversuchen wurde die Reproduzierbarkeit mechanischer Kennwerte gesteigert.

**KONTAKT**  
 Philipp Kohlwes  
 +49 40 484010-745  
 philipp.kohlwes@iapt.fraunhofer.de

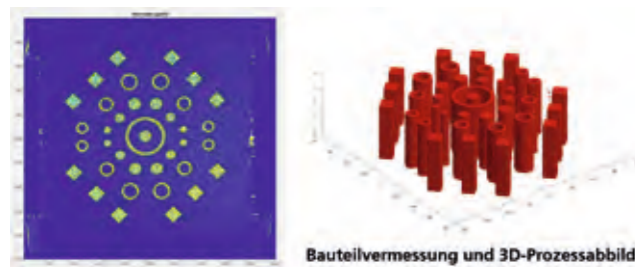


# ANALYSE DER LBM-TOPOGRAPHIE FÜR DIE ROBUSTE ADDITIVE PRODUKTION

# WIRE ARC ADDITIVE MANUFACTURING (WAAM)

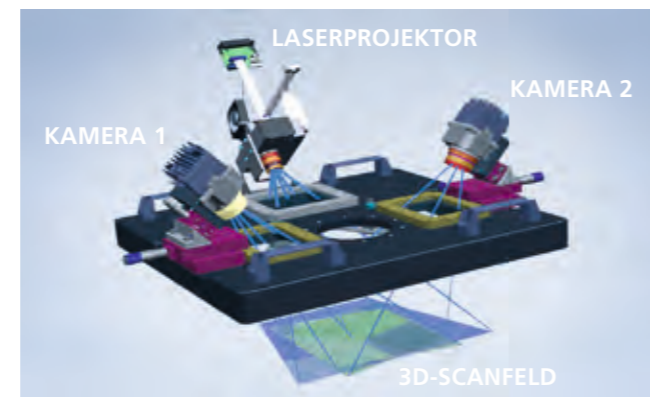
## HOCHAUFLÖSENDE TOPOGRAPHIEMESSUNG IM LBM-PULVERBETT

Eine der zentralen Herausforderungen für die Etablierung der additiven Technologien in der Industrie stellt aktuell die unzureichende Prozessüberwachung dar, die innerhalb des Produktionsprozesses frühzeitig Rückschlüsse auf die erreichte Bauteilqualität ermöglicht. Der komplexe Druckprozess weist detektierbare Instabilitäten auf, die für die Bildung von Bauteildefekten ursächlich sind und die resultierende Bauteilqualität maßgeblich bestimmen. Für die In-situ-Qualitätskontrolle des Druckprozesses pulverbettbasierter additiver Verfahren wurde im Rahmen des Horizon-2020-Projekts Bionic Aircraft zusammen mit dem Hexagon Technology Center in Heerbrugg (Schweiz) eine neue Technologie zur Pulver- und Bauteilschichtüberwachung entwickelt. Das System »Structured Light 3D« erlaubt erstmals die schichtweise Erfassung der 3D-Topographie der unaufgeschmolzenen sowie aufgeschmolzenen Bereiche des Pulverbetts während des Druckprozesses. Dabei kommen hochauflösende CMOS-Kameras (50 Megapixel) in Verbindung mit Streifenlichtprojektionen zum Einsatz, die eine 3D-Aufnahme mit einer räumlichen Auflösung von < 15 Mikrometer ermöglichen.



Die hohe Auflösung der 3D-Topographie in allen drei räumlichen Richtungen, vor und nach der Belichtung, gewährt dem Nutzer tiefe Einblicke in die Dynamik des Prozesses. Die Auswertung der erfassten Daten durch Methoden der statistischen Analytik und der künstlichen Intelligenz ermöglicht die Detek-

tion, Identifikation und Klassifikation von auftretenden Prozessinstabilitäten und der daraus resultierenden Bauteilqualität.



Durch Stacken der erfassten Schichtdaten lässt sich ein digitales Abbild des in Produktion befindlichen Bauteils generieren, mit dem zusätzlich eine geometrische Vermessung möglich ist. Durch die Erfassung des Pulverbettzustands vor und nach der Belichtung bildet das System damit eine ideale Ergänzung zu »On Axis«-Prozessmonitoring-Systemen, die z. B. anhand von Fotodioden im Strahlengang die Emissionen des Schmelzbads zur Überwachung der Prozessstabilität erfassen.

Gefördert von



### KONTAKT

Peter Lindecke

+49 40 484010-730

peter.lindecke@iapt.fraunhofer.de



## HOHE PRODUKTIVITÄT TRIFFT GERINGE SYSTEMKOSTEN

Das etablierte Laserstrahlschmelzen ist Ihnen zu langsam oder zu teuer? Sie brauchen große Bauteile? Dann ist die additive Fertigung mittels Lichtbogentechnik (engl. Wire Arc Additive Manufacturing) eine geeignete Alternative. Wo bisher die Aufbauraten im Pulverbettverfahren mit 20 bis 100 cm<sup>3</sup>/h limitiert und die Bauteilkosten mit häufig weit über 500 €/kg zu teuer waren, bietet sich mit dem WAAM-Verfahren die Möglichkeit, schneller und günstiger zu arbeiten und endkonturnahe Bauteile zu erstellen. Insbesondere eignet sich das Verfahren für großvolumige Bauteile mittlerer Komplexität, die mit bekannten Nacharbeitsverfahren wirtschaftlich auf Endmaß gebracht werden.

WAAM konnte bereits die technologische Reife für einen Einsatz als Rapid-Manufacturing-Verfahren unter Beweis stellen und findet erste Serienanwendung in der Herstellung von Strukturbauteilen z. B. für die Luft- und Raumfahrt sowie den Schiffbau. Durch die günstige Anlagentechnik bei gleichzeitig hohen Aufbauraten bis > 600 cm<sup>3</sup>/h hat der WAAM-Prozess großes Potenzial, sich schnell in weiteren Branchen zu etablieren.

Das Fraunhofer IAPT beschäftigt sich daher intensiv mit der Industrialisierung des WAAM-Prozesses und damit einhergehend mit der Auflösung bestehender Hürden sowie der Übertragung der Potenziale auf neue Werkstoffe und Anwendungen. Hierfür entwickelt das Fraunhofer IAPT Prozessstrategien, Programmier- und Sensortools sowie Nachbearbeitungsmethoden und appliziert diese auf neue industrielle Anwendungen verschiedener Branchen. Im Ergebnis entstehen porenfreie und verzugsarme Bauteile, die in ihrer Komplexität und Größe durch eine am Fraunhofer IAPT entwickelte Softwareunterstützung zukünftig auf Großstrukturen mit Dimensionen von mehreren Metern übertragen werden können. Gleichzeitig sind auch

Reparaturanwendungen und klassische Auftragsschweißungen zum Aufbringen von Verschleiß- oder Korrosionsschichten Teil der Anwendungsmöglichkeiten.



→ **Abbildung:** Zellenlösung für die stationäre Fertigung von maritimen Bauteilen basierend auf dem WAAM-Prozess

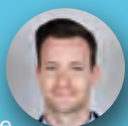
Am Fraunhofer IAPT werden mobile und stationäre Zellenlösungen entwickelt, die mittels Lichtbogentechnik an kooperierenden Robotern in Verbindung mit Zerspanungsprozessen Fertigungssysteme für die Serienanwendungen stellen. Das Zusammenwirken der Einzelsysteme und Prozessbegleitung über einen digitalen Zwilling werden entsprechend auf die Aufgabe abgestimmt und gemäß den Wunschanforderungen der Kunden entwickelt. Hierbei wird bewusst auf robotergeführte Prozesse gesetzt, die maximale Freiheiten und ein simultanes Arbeiten an einem Bauteil für minimalen Zeitbedarf ermöglichen.

### KONTAKT

Markus Heilemann

+49 40 484010-627

markus.heilemann@iapt.fraunhofer.de



## SKALIERBARE SELEKTIVE LASERSINTERPROZESSE (SLS)

### Von der Materialentwicklung zur Serie

Aktuell finden für das Selektive Lasersintern (SLS) primär Kunststoffe wie PA12 und deren Derivate Anwendung. Viele industrielle Applikationen verlangen indes anwendungsspezifische Eigenschaftsprofile, die über die Standard-SLS-Materialien hinausgehen (wie z. B. Polyethylen). Um neue Materialien für das SLS-Verfahren zugänglich zu machen, ist jedoch eine zeit- wie kostenintensive Material- und Prozessentwicklung erforderlich, was nicht zuletzt mit den großen Bauräumen industrieller SLS-Anlagen zu begründen ist. So müssen neue Pulver bereits in größeren Mengen vorliegen, damit überhaupt erste Druckversuche durchgeführt werden können und sich letztlich valide Aussagen über deren Verarbeitbarkeit im SLS-Prozess erhalten lassen.

Die Möglichkeit, schnell mehrere verschiedene Pulver testen zu können, ist somit aufgrund der größeren dafür erforderlichen Materialmengen beschränkt. Zudem ist eine derartige Material- und Prozessentwicklung durch viele Iterationsschleifen gekennzeichnet, was mit größeren Pulvermengen wirtschaftlich nur bedingt sinnvoll erscheint. Aus diesem Grund wurde am Fraunhofer IAPT ein modularer Bauraum für eine industrielle SLS-Anlage (Hersteller EOS) entwickelt, in dem Pulvermengen bereits im Labormaßstab (50 Gramm) unter sonst realen Bedingungen getestet werden können. Dadurch werden die Feedback-Schleifen in der Material- und Prozessentwicklung signifikant reduziert, was letztlich ein Testen vieler verschiedener Pulvervarianten in einem frühen Entwicklungsstadium zulässt. Die erzielten Ergebnisse lassen sich anschließend mühelos auf eine entsprechende Industrieanlage übertragen. Dafür wird das Bauraummodul abmontiert und die Anlage mit industriellen Pulvermengen bestückt.

**Schritt 1:**  
Ermitteln der Materialeigenschaften

**Schritt 2:**  
Machbarkeitsstudie auf IAPT-Testanlage

**Schritt 3:**  
Prüfen der machbaren technischen Eigenschaften

**Schritt 4:**  
Scale-up beim Kunden

### Wie können Kunden profitieren?

- Ab 50 Gramm Pulvermaterial ist eine erste Machbarkeitsstudie für ein Material möglich (der Kunde benötigt keinen großvolumigen Testreaktor zur Pulverherstellung)
- 98 Prozent Reduktion des Materialverbrauchs für die Prozessentwicklung
- Die Prozessentwicklung im verkleinerten Bauraum ist in Bezug auf ein Material 30 Prozent günstiger als im vollen Bauraum
- Sie erhalten die Ergebnisse zur Entwicklung eines Materials 25 Prozent früher
- Direkte Übertragung der Ergebnisse auf industriellen Maßstab möglich
- Bei der Prozessentwicklung für eine Vielzahl von Materialvarianten können weitere Kosten- und Zeiteinsparungen von jeweils bis zu 50 Prozent im Vergleich zum vollen Bauraum erzielt werden
- Die Prozessentwicklung für hochpreisige Materialien kann kosteneffizient durchgeführt werden

### Beispiel: Prozessentwicklung für Elektronikbauteile

Für die Herstellung von sogenannten Molded Interconnect Devices (MID) stellt das SLS-Verfahren eine Möglichkeit dar, die konventionelle Prozesskette, die auf dem Spritzguss beruht, flexibler zu gestalten. So wird es möglich, Prototypen und Kleinserien, die bisher nicht wirtschaftlich umgesetzt werden konnten, mit dem SLS-Verfahren zu realisieren.

Die Herstellung der MID basiert darauf, Leiterbahnen selektiv auf der Bauteiloberfläche durch einen chemischen Prozess abzuschneiden. Dafür ist wiederum die Materialzusammensetzung entscheidend, die neben der Kunststoffmatrix aus einem speziellen Additiv besteht. Die Auswahl der Additivart und -konzentration erfolgt anwendungsspezifisch und ist auch von der Polymerart der Kunststoffmatrix abhängig. Um die Materialzusammensetzung prozessgerecht einzustellen, ist ein experimentelles Vorgehen erforderlich. Für jede Materialzusammensetzung muss die Prozessentwicklung durchgeführt und anschließend die Metallisierbarkeit untersucht werden. Da für jede Kombination von Kunststoffmatrix und Additiv mindestens sechs Varianten typisch sind, ist bei diesen Entwicklungen der Materialumfang sehr groß.

Das Fraunhofer IAPT kann in diesem Anwendungsfall mit seiner Expertise und dem entwickelten Bauraummodul den zuvor genannten Kundennutzen bieten und die Entwicklungszeit von Monaten auf wenige Wochen reduzieren.

### KONTAKT

Lennart Waalkes

+49 40 484010-762

lennart.waalkes@iapt.fraunhofer.de



## VERBUNDWERKSTOFFE FÜR VERZUGSFREIE SLS-BAUTEILE

Viele Anwendungen aus der Industrie verlangen nach Kunststoffen, die spezifische Eigenschaftsprofile aufweisen, die von den derzeit am Markt angebotenen Materialien für das Selektive Lasersintern (SLS) – primär PA12 und deren Derivate – nicht abgedeckt werden. Die Prozessentwicklung neuer Materialien wird jedoch durch die bestehende Anlagentechnik, die großen Bauräume im Speziellen, zunehmend erschwert. Mit dem am Fraunhofer IAPT entwickelten verkleinerten Bauraum ist nun die kosteneffiziente Prozessentwicklung neuer, vielversprechender Materialien möglich.

Als ein solches Material gilt das Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene, kurz: UHMWPE, das hervorragende chemische wie physikalische Eigenschaften aufweist und z. B. in der Medizintechnik für Gelenkeinsätze in Knien verwendet wird. UHMWPE zeichnet sich ferner durch eine hohe Verschleißfestigkeit wie auch geringe Reibwerte aus. Dies wird durch eine sehr gute Lebensmittelverträglichkeit ergänzt, was diesen Kunststoff für einen Einsatz in der Lebensmittelindustrie prädestiniert.

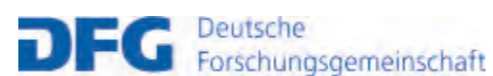
In der Vergangenheit hat das Material jedoch aufgrund der zu hohen Viskosität im SLS-Prozess zu Bauteilen mit minderwertigen mechanischen Eigenschaften und hohem Verzug geführt.

Am Fraunhofer IAPT wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Technische und Makromolekulare Chemie der Universität Hamburg mit der Entwicklung von dUHMWPE (disentangled UHMWPE) die Viskositätsproblematik des Materials adressiert. Durch eine Kombination aus In-situ-Polymerisation und simulationsgestützter Temperaturkontrolle wird somit die Herstellung maßhaltiger Bauteile durch SLS möglich.

Um ferner die optischen und mechanischen Eigenschaften weiter zu optimieren, wird die Zugabe von Additiven untersucht. Carbon Nanotubes (CNTs) erhöhen bspw. die Absorption des Laserlichts sowie die elektrische und thermische Leitfähigkeit. Ihr möglicher Einsatz ist Gegenstand aktueller Forschung am Fraunhofer IAPT. Neben dem experimentellen Aspekt sind vor allem Simulationen im Rahmen der Prozessentwicklung von besonderem Interesse. Hierzu wird aktuell ein Simulationsmodell erstellt, das alle wesentlichen Material- und Prozesskennwerte enthält und das Temperaturprofil im Pulverbett zeitabhängig und valide vorhersagt. Der simulierte Temperaturverlauf wird anschließend mit dem materialspezifischen Kristallisationsverhalten des dUHMWPE korreliert. Basierend auf der Inhomogenität der Kristallisation können so Vorhersagen über den Bauteilverzug getroffen werden, dem anschließend proaktiv mithilfe einer entsprechend den Simulationsergebnissen gezielten Abkühlung entgegengewirkt werden soll.

Dem Fraunhofer IAPT wird es somit gelingen, dUHMWPE erstmals prozessstabil und verzugsfrei im SLS-Verfahren zu verarbeiten, wodurch das hervorragende Eigenschaftsprofil dieses Materials für industrielle Anwendungen in Form von neuen, geometrisch höchst komplexen Produkten zugänglich gemacht wird.

Gefördert von



### KONTAKT

Lennart Waalkes

+49 40 484010-762

lennart.waalkes@iapt.fraunhofer.de



## MATERIALS – NEUE WERKSTOFFE FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG

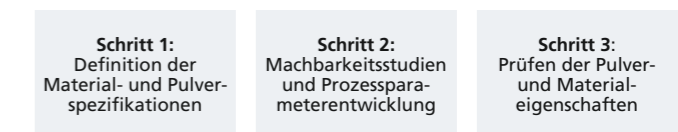
Die außergewöhnliche Designfreiheit und die direkte Verarbeitung digitaler Modelle machen die additive Fertigung zu einer Technologie, deren Relevanz stetig steigt. Um das volle Potenzial dieses Fertigungsverfahrens nutzen zu können, muss aber schon am genutzten Rohstoff angesetzt werden.

Zurzeit ist die Liste der Metallwerkstoffe, die additiv gefertigt werden, recht übersichtlich. Obwohl viele Anwender den Wunsch nach branchenspezifisch angepassten Materialien äußern, greifen die meisten immer noch auf Standardlegierungen zurück. Dementsprechend ist die meistgenutzte Legierung für das pulverbettbasierte Laserstrahlschmelzen (LBM) die Aluminiumgusslegierung, AlSi10Mg. Diese Beschränkung der Werkstoffauswahl steht im deutlichen Kontrast zu der umfangreichen Materialpalette für konventionelle Fertigungsverfahren. Es können allerdings nicht alle bekannten Legierungen ohne Weiteres auf das LBM-Verfahren übertragen werden. Hochfeste Aluminiumlegierungen auf Magnesium- oder Zinkbasis sollen die Palette ergänzen, allerdings kann es aufgrund der Materialzusammensetzung bei der Verarbeitung zu erhöhter Rauchentwicklung oder Rissbildung kommen.

Als Lösungsansatz für dieses Problem bietet das Fraunhofer IAPT die Entwicklung werkstoffgerechter Prozessstrategien für neue Materialien im LBM-Verfahren an. Es konnten bereits maßgeschneiderte Al-Legierungen für Automotive-Anwendungen, darunter hochduktile Materialien für crashrelevante Bauteile und auch hochfeste Aluminiumwerkstoffe für die Luftfahrt, generiert werden.

Um die Etablierung neuer Werkstoffe in der additiven Fertigung weiter voranzutreiben, nutzt das Fraunhofer IAPT ein auf drei Säulen basierendes Vorgehen. Beginnend mit der Analyse des

Pulvers können Einflüsse auf die Bauteilqualität durch die speziellen Charakteristiken identifiziert und quantifiziert werden. Weitergehend können somit Qualitätsgrenzen, Handhabungsrichtlinien oder eine Bewertung der allgemeinen Eignung des Pulvers für additive Verfahren abstrahiert werden. Aufbauend auf langjähriger Erfahrung wird in der zweiten Stufe der Fertigungsprozess an den Werkstoff angepasst. Verschiedene Messsysteme und Anlagensysteme werden in Kombination mit innovativen Auswertetools genutzt, um die wichtigsten Prozessparameter zu variieren und hinsichtlich individueller Zielgrößen zu optimieren. Am Ende dieser iterativen Methodik stehen Prüfkörper, die auf ihre Materialeigenschaften getestet werden. Materialspezifische Wärmebehandlungsstrategien und weitere Parameteroptimierungen können genutzt werden, um die vom Kunden geforderten Eigenschaften reproduzierbar zu erreichen.



Mit diesem Erfolgskonzept konnte das Fraunhofer IAPT bereits zahlreiche Stahl- und Aluminiumlegierungen für die additive Fertigung nutzbar machen. Aktuelle Forschungsprojekte befassen sich darüber hinaus auch mit der Verarbeitung und Prüfung von Verbundwerkstoffen. Damit trägt das Fraunhofer IAPT einen wichtigen Teil dazu bei, die Reichweite der additiven Fertigung noch weiter auszubauen und einer modernen Technologie die geeigneten Werkstoffe zur Verfügung zu stellen.

### KONTAKT

Maximilian Kluge

+49 40 484010-728

maximilian.kluge@iapt.fraunhofer.de



# PROFITABLE DED SYSTEME DURCH HOCHPRÄZISE PROZESSSTEUERUNG

## SENSEPRO – ROBOTERAUGE MIT RUNDUMBLICK



Roboter können sich in alle Richtungen bewegen – aber nicht in alle Richtungen sehen. Der SensePRO-Lasersensor der Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT schafft Abhilfe. Viele Produktionsprozesse werden heute allein durch das Handhabungssystem ausgeführt, d. h., das Maschinenprogramm wird einmal programmiert und dann wiederkehrend ausgeführt, ohne dass eine ergänzende Sensortechnik für die Umgebungswahrnehmung zum

Einsatz kommt. Hiermit bleiben Toleranzen im Bauteil, Ungenauigkeiten in der Maschinenausführung sowie Fehler und Abweichungen bei den eigentlichen Fertigungsprozessen unerkannt. Daher muss häufig auf hochpräzise und damit teure CNC-Systeme als Bearbeitungsmaschine zurückgegriffen werden, um die notwendigen Genauigkeiten der Prozesse zu gewährleisten.

Abhilfe schafft die Sensortechnik SensePRO des Fraunhofer IAPT. Dieses Sensorsystem, zunächst entwickelt für auftragende additive Prozesse wie z. B. das Laserauftragschweißen, Lichtbogen-auftragschweißen oder Fused Deposition Modeling, ermöglicht die präzise Erkennung der Maschinenposition sowie der Bauteillage und Geometrie. Hiermit können Auftragprozesse kontinuierlich geregelt und damit Fehler und Ausschuss reduziert werden. Weiterhin ermöglicht es den Einsatz kostengünstiger Handhabungsroboter statt teurer CNC-Systeme, da deren Genauigkeit durch die Regelung auf das notwendige Maß gesteigert werden kann. Dies senkt die Systemkosten signifikant

und ermöglicht somit die wirtschaftliche Bearbeitung der Bauteile.

Im Gegensatz zu bekannten eindimensionalen Triangulationsensoren ist SensePRO richtungsunabhängig und ermöglicht so eine maximale Prozess- und Bauteilgeometriefreiheit. Durch das 360°-Messfeld werden bisher notwendige Nebenzeiten zur Umpositionierung des Roboters verhindert und Prozesszeiten auf die produktive Bearbeitung minimiert. Ergänzend zur Prozessregelung ermöglicht SensePRO während des Prozesses die Erfassung der bearbeiteten Auftragsnaht sowie der Gesamtbauteilgeometrie. Diese In-Prozess-Digitalisierung ermöglicht eine unmittelbare Qualitätserfassung im Prozess. Durch den integrierten Soll-Ist-Abgleich der Geometrie ist der bisher notwendige Wechsel auf eine gesonderte Messstation obsolet. Dies spart Zeit und Kosten.

Dank seiner Modularität in Hard- und Software lässt sich dieser Sensor leicht an unterschiedlichste Anwendungen anpassen und mühelos für verschiedene Robotersteuerungen konfigurieren. Dadurch kann der Sensor zukünftig problemlos in andere Prozesse und bestehende Produktionssysteme integriert werden.

Gefördert vom



### KONTAKT

Malte Buhr

+49 40 484010-628

malte.buhr@iapt.fraunhofer.de



# DIGITALISIERTE AUTOMATION VON DED PROZESSEN

## AUTOMATISIERTES PROZESSPLANUNGSTOOL FÜR DED PROZESSE (SLICEME)

Im Gegensatz zu Pulverbetttechnologien bieten Directed-Energy-Deposition-Prozesse (DED Prozesse) eine hohe Auftragsrate und Flexibilität bei der Herstellung von Hybrid- und Großstrukturen. Bei verschiedenen DED Prozessen wie Laser Metal Deposition (LMD), Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) und Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM) wird auf eine flexible und roboterbasierte Handhabung gesetzt. Der schichtweise Materialauftrag mit verfahrensspezifischen Bearbeitungsköpfen wird durch die Roboterbewegung erreicht, die von der zugrunde liegenden CAD-Geometrie vorgegeben werden soll. In derartigen robotergeführten AM-Prozessen spielen Bahnplanungs- und Baustrategien eine wichtige Rolle für die resultierende Endgeometrie und Mikrostruktur, die einen direkten Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften des Bauteils haben.

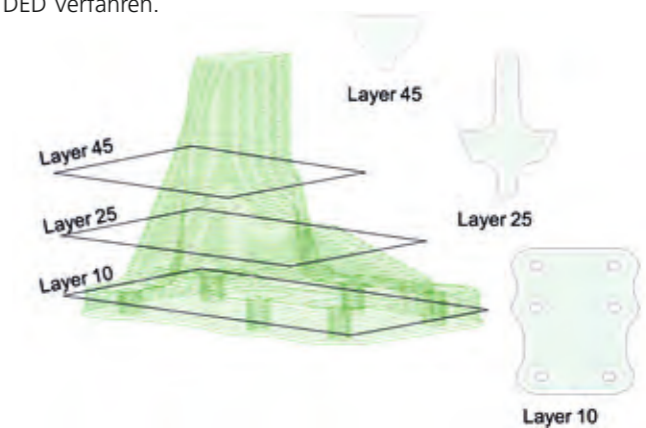
Als Lösungsansatz hat das Fraunhofer IAPT »SliceMe« zur automatisierten Vorverarbeitung von CAD-Daten und zur Generierung des RoboterCodes ohne manuellen Eingriff entwickelt. Das Tool besteht aus drei Modulen: dem Geometrieanalysemodul, dem Slicing- und Bahngenerierungsmodul sowie einem Robotercodegenerierungsmodul.

Das Geometrieanalysemodul automatisiert die Vorverarbeitung der CAD-Geometrie mit Topologieerkennung durch die Berechnung der Schwerpunktachsen. In diesem Modul wird die Überhangerkennung und Volumensegmentierung für komplexe Freiformstrukturen durchgeführt, um eine stützstrukturfreie Fertigung zu ermöglichen.

Das Modul Slicing und Bahngenerierung definiert das unidirektionale und multidirektionale Slicing der segmentierten CAD-Daten. Eine eingebaute Prozessdatenbank mit vordefinierten

Slicing- und Hatching-Parametern auf Basis von Prozessparametern ermöglicht ein optimiertes Slicing von 2,5D- und 3D-Strukturen. Die Roboterbahn für jede einzelne Schicht wird dann basierend auf einem der vielen verfügbaren Bahnstellungsalgorithmen automatisch generiert. Ein Slicing-Viewer visualisiert abschließend den Roboterbahnverlauf in dreidimensionaler Ansicht.

Das Robotercodegenerierungsmodul integriert vom Benutzer definierte Build-Strategien in Schichtinformationen, um den Code zur Ansteuerung des Roboters zu generieren. Vordefinierte Funktionen und Standardmodule ermöglichen es dem Anwender, Baustrategien flexibel mit reduziertem Aufwand in kürzerer Zeit zu erstellen. Übergreifend bildet das Prozessplanungstool SliceMe eine entscheidende Basis für eine automatisierte digitale Prozesskette im Bereich der roboterbasierten DED Verfahren.

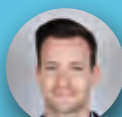


### KONTAKT

Markus Heilemann

+49 40 484010-627

markus.heilemann@iapt.fraunhofer.de



## INDIVIDUELLE PRODUKTION MIT SMARTEN ADDITIVEN FABRIKLÖSUNGEN

### Fabriksimulation

Der Aufbau einer additiv produzierenden Fabrik ist häufig mit Investitionen in Millionenhöhe verbunden. Somit kann jeder Fehler bei der Gestaltung teuer werden und Auswirkungen auf Bauteilkosten oder Durchsatz haben. Das Fraunhofer IAPT hat ein Simulationsmodell entwickelt, um verschiedene Fabriklayouts frühzeitig zu simulieren und teure Fehler beim Fabriklayout zu vermeiden. Durch flexibel aufgebaute Modelle ist es so möglich, risikolos verschiedene Szenarien zu untersuchen. Der Anwender kann mithilfe der Simulation evaluieren, mit welcher Fabrikstruktur vorgegebene Zielgrößen realisierbar sind. Typische Beispiele für Zielgrößen sind die produzierbaren Stückzahlen und Durchlaufzeiten pro Bauteil. Verknüpft mit geeigneten Kostenmodellen ist es möglich, notwendige Investitionskosten und resultierende Betriebskosten abzuleiten. Je nach zu produzierendem Bauteilportfolio ergeben sich unterschiedlich geeignete Fabriklayouts. In der Ersatzteilproduktion ist das am höchsten priorisierte Zielkriterium die Lieferzeit, während im Bereich der Mass Customization die Stückkosten gesenkt werden sollen. Entsprechend unterscheiden sich die benötigte Maschinenanzahl und -art sowie deren effiziente Anordnung.

### »Digitaler Zwilling« der Fabrik

Auch existierende Produktionen lassen sich in der Simulation nachbilden und auf Optimierungspotenziale untersuchen. Aus den Ergebnissen lassen sich konkrete Handlungsempfehlungen zur Effizienzsteigerung ableiten. Einmal aufgesetzt, ist das Simulationsmodell jederzeit an veränderte Anforderungen anpassbar. Der aktuelle Zustand der Produktion lässt sich mithilfe eines »digitalen Zwillings« darstellen. Ein »digitaler Zwilling« bildet

ein physisches Objekt in der virtuellen Welt ab. Auf diese Weise wird der aktuelle Status sowohl der gesamten Produktionslinie als auch der einzelnen Produktionsstationen sichtbar. Dies bedeutet folglich mehr Transparenz und ein besseres Verständnis der Zusammenhänge. Werden kritische Zustände an Anlagen detektiert, lassen sich Ausfallzeiten durch die Anwendung von prädiktiver Wartung der Anlagen reduzieren. Ursachen für Bauteilfehler sind mit dem Sammeln und Speichern der Produktionshistorie einfacher zu identifizieren. Die Fehlerursachen lassen sich schneller beheben.



→ **Abbildung:** vereinfachtes Simulationsmodell einer Produktionslinie

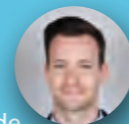
Hauptsächlich werden die verwendeten Daten direkt aus den Anlagen ausgelesen. Für eine vollständige virtuelle Abbildung der Produktion ist dies allerdings nicht ausreichend. Aus diesem Grund entwickelt das Fraunhofer IAPT Sensorboxen, die je nach Anwendungsfall weitere relevante Daten aufnehmen. Zusammen sind die Simulation und der »digitale Zwilling« ideale Werkzeuge, um die Effizienz von Produktionslinien zu überwachen und zu steigern.

### KONTAKT

Markus Heilemann

+49 40 484010-627

markus.heilemann@iapt.fraunhofer.de



## MOBILE FERTIGUNGSEINHEIT FÜR ALLE EINSATZGEBIETE



Das Konzept einer modularen und containerbasierten Fertigungseinheit hat sich maßgeblich aus der Herausforderung entwickelt, dezentral und erst bei Bedarf Ersatzteile zur Verfügung zu haben. Vor allem an abgelegenen und schwer zugänglichen Orten ist die schnelle Verfügbarkeit von qualifizierten Fertigbauteilen relevant. So können kostenintensive Stillstandszeiten und Lagerkosten auf ein Minimum reduziert werden.

Bei der Additive Mobile Factory wird mithilfe additiver Produktionstechnologien die Bauteilgeometrie innerhalb kürzester Zeit endkonturnah aufgebaut und anschließend automatisiert endbearbeitet. Die gesamte physische und digitale Prozesskette von der Konstruktion zum qualitätsgesicherten Bauteil steckt in einem platzsparenden Container, der problemlos ortsunabhängig betrieben werden kann. Genau dort, wo die Kapazitäten gerade gebraucht werden: Plug-and-play.

Der gezielte Fokus auf Auftragschweißtechnologien bietet in Kombination mit der robotergestützten Endbearbeitung eine robuste und kostengünstige Systemlösung. Die Verknüpfung mit der vom Fraunhofer IAPT entwickelten Sensorlösung SensePRO garantiert dabei eine gleichbleibende und zuverlässige Bauteilqualität. Ein maßgeschneidertes Softwarepaket steuert die vollständige Prozesskette und sorgt somit für eine erleichterte Bedienbarkeit.

Bei der Umsetzung der Additive Mobile Factory werden die weitreichenden Kompetenzen des Fraunhofer IAPT entlang der gesamten additiven Prozesskette zu einer hochautomatisierten Systemlösung zusammengeführt. Die modulare Produktarchitektur ermöglicht die kundenindividuelle Konfiguration im Hinblick auf AM-Technologie, Endbearbeitung, Fertigungskapazität und Automatisierungsgrad. Ein vereinfachtes Modell dieser mobilen Fertigungslösung wurde zur Formnext 2019 in einem 10 Fuß Container demonstriert und kann jetzt von Besuchern am Fraunhofer IAPT in Hamburg besichtigt werden.

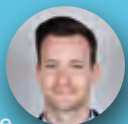


### KONTAKT

Markus Heilemann

+49 40 484010-627

markus.heilemann@iapt.fraunhofer.de





## NACHHALTIGER SCHIFFSLEICHTBAU DURCH AUTOMATISIERTES 3D-LASER-LICHTBOGEN-HYBRIDSCHWEISSEN

### Motivation und Zielsetzung

Das zentrale Ziel im ShipLight-Forschungsvorhaben war es, einen neuen Schweißprozess zu entwickeln, der in der schiffbaulichen Applikation die Diskrepanz der Prozesseigenschaften zwischen dem konventionellen Metall-Aktivgas-Schweißen (MAG-Schweißen) und dem Hochleistungslaser-MAG-Hybrid-schweißen schließt. In Relation zum MAG-Prozess wurde eine Geschwindigkeitssteigerung in Verbindung mit einer deutlichen Reduktion der Streckenenergie angestrebt. Verglichen mit dem Laser-MAG-Hybridverfahren, wie es auf Werften in Paneelstraßen genutzt wird, sind dagegen eine wesentlich größere Spaltüberbrückbarkeit sowie eine verbesserte Zugänglichkeit am Bauteil vonnöten.

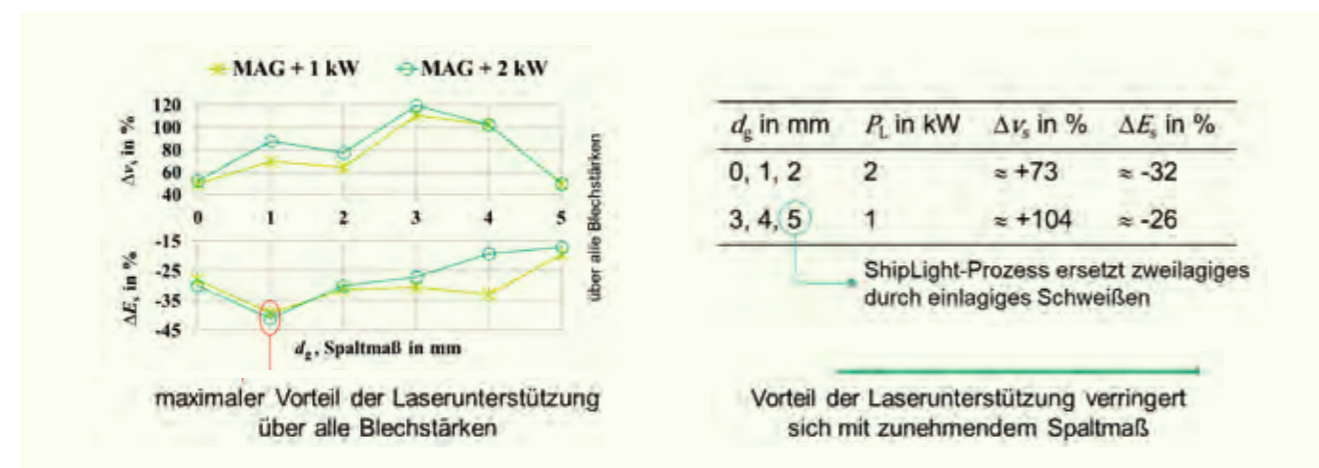
Einbezogen auf die Prozesskette durchgängig verzugsarmer Schweißprozess bildet die Voraussetzung, um dünnere Bleche im Schiffbau zu verwenden. Denn die Blechstärke wird oftmals

nicht aus Festigkeitsgründen, sondern aus Gründen der Beulsteifigkeit gewählt. Das bedeutet, es sind überwiegend Fertigungsrestriktionen, die den Leichtbau verhindern. Wenn diese Restriktionen durch eine neue Fertigungsmethode wie den ShipLight-Prozess eliminiert werden, besteht die Möglichkeit, Material zu sparen und ressourceneffizienter zu produzieren.

### ShipLight-Prozess

Eine aus Gründen der Lasersicherheit auf maximal zwei Kilowatt Laserleistung begrenzte Strahlquelle unterstützt einen energieoptimierten MAG-Lichtbogen – das ist der ShipLight-Prozess. Der Laserstrahl mit einem Spotdurchmesser von 1,2 Millimetern dient der Stabilisierung des Lichtbogenschweißprozesses und der Verbesserung von dessen Performance.

Für die Prozessentwicklung wurden Blechstärken von drei Millimeter bis zehn Millimeter mit voreingestellten Spaltbreiten



→ **Abbildung 1:** Vorteile des ShipLight-Prozesses gegenüber dem konventionellen MAG-Prozess am T-Stoß (Quelle: Fraunhofer IAPT)

vom technischen Nullspalt bis hin zu einem Spaltmaß von fünf Millimetern untersucht. Diese Vorgaben galten sowohl für I- als auch für T-Stöße. Das Versuchsmaterial bestand aus den schiffbautypischen Güten A36 bzw. S355.

Als entscheidende Beurteilungskriterien für die Einsatzfähigkeit und die Qualität des ShipLight-Prozesses wurden die eingebrachte Streckenenergie bei mindestens gleicher Nahtgüte sowie der Bauteilverzug herangezogen. Eine Reduzierung der Streckenenergie (aufgewendete Energiemenge bezogen auf eine geschweißte Längeneinheit ohne Berücksichtigung eines Wirkungsgrades) wirkt sich prinzipiell positiv durch einen geringeren Verzug der geschweißten Konstruktion aus. Die durch die Laserunterstützung höhere Schweißgeschwindigkeit senkt potenziell die Streckenenergie, dabei muss aber die zusätzlich eingebrachte Laserleistung überkompensiert werden. Die Versuche wurden jeweils mit einem Kilowatt und mit zwei Kilowatt Laserleistung  $P_L$  absolviert, um individuell bezogen auf Blechstärke und Spaltbedingungen die streckenenergetisch günstigste Variante zu detektieren.

In der Prozessanwendung auf I-Stöße konnten Blechstärken bis zu zehn Millimetern einlagig geschweißt und Spaltmaße bis zu einem Millimeter ohne Badstütze sowie bis zu drei Millimeter mit keramischer Badstütze überbrückt werden. An T-Stößen wurden mit dem ShipLight-Prozess einseitige Kehlnähte erzeugt. Ziel war es dabei, möglichst eine Einschweißtiefe zu erreichen, die mindestens 50 Prozent der Stegbreite beträgt, sodass dann mit einer Gegenlage ein beidseitig geschweißter Vollanschluss realisierbar ist. Die Laserunterstützung verhilft grundsätzlich zu einer gesteigerten Einschweißtiefe gegenüber dem reinen MAG-Prozess. Im Falle von drei Millimetern Blechstärke konnte sogar einseitig (unabhängig von den Spaltbedingungen) ein Vollanschluss erzielt werden. Erst ab einer Blechstärke von mehr als sieben Millimetern verringerte sich die Anbindungslänge bei gleichbleibender Laserleistung und Schweißgeschwindigkeit auf nur noch 40 Prozent der Stegbreite.



→ **Abbildungen 2 und 3:** 2) Siehe Bild oben – ShipLight-Bearbeitungskopf von Cloos mit integrierter Fugenfolgesensorik; 3) Einsatz des vollautomatischen Bearbeitungssystems im Fraunhofer IAPT (Quelle: Fraunhofer IAPT)

Mit dem im Projekt entwickelten ShipLight-Prozess ist es gelungen, die Schweißgeschwindigkeit  $v_s$  und die Einschweißtiefe gegenüber dem MAG-Prozess signifikant zu steigern und damit die Streckenenergie  $E_s$  zu senken, was sich positiv auf den thermisch verursachten Verzug der Fügepartner auswirkt. In Relation zum Hochleistungslaser-Hybridschweißverfahren wurde die Prozesstoleranz um ein Vielfaches verbessert, und zugleich ließen sich im Maximum sogar ähnlich hohe Schweißgeschwindigkeiten von bis zu 2,4 m/min erreichen. Spaltmaße größer 0,5 Millimeter bilden in der Hochleistungslaseranwendung im Gegensatz zum ShipLight-Prozess bereits die Toleranzobergrenze. Für den neuen Prozess beträgt das Spaltlimit drei Millimeter bei I-Stößen und bis zu fünf Millimeter bei T-Stößen. Allgemein gilt allerdings sowohl für I- als auch für T-Stöße, dass der Vorteil durch die Laserunterstützung im ShipLight-Prozess mit steigendem Spaltmaß abnimmt. Abbildung 1 fasst die erreichten Ergebnisse exemplarisch für T-Stöße im Vergleich zum bislang auf den Werften eingesetzten konventionellen MAG-Schweißprozess zusammen.

#### Systemtechnik für den ShipLight-Prozess

Zur Anwendung des ShipLight-Prozesses waren zwingend neue Bearbeitungssysteme erforderlich, die iterativ und prozessbegleitend entstanden sind. Die im Projekt entwickelten Systeme

adressieren die vollständige 3D-Bearbeitungskette im Schiffbau und teilen sich in ein voll- bzw. teilautomatisiertes und ein handgeführtes Schweißgerät auf. Für den automatisierten Bearbeitungskopf wurde von der Fa. Cloos ein sehr schlankes und flexibel einsetzbares Design realisiert, das lediglich die funktionsbedingt minimale Störkontur aufweist und dadurch robotergeführt vergleichsweise einfach in einer Schiffsstruktur bewegt werden kann. Die Positionierung am Bauteil erfolgt mithilfe des vom Fraunhofer IKT entwickelten Prozessüberwachungs- und Steuerungssystems (PMCS), das koaxial, d. h. durch die Laserbearbeitungsoptik hindurch, eine texturbasierte Fugenlagedetektion und Spaltbreitenmessung ermöglicht, um die Schweißparameter situativ anpassen zu können.



Die Anforderungen in der Blockfertigung und der dann anschließenden Bordmontage hinsichtlich der Zugänglichkeit am Bauteil verlangen eine zusätzliche Systemlösung, die ein besonders hohes Maß an Mobilität und Einsatzflexibilität bereithält. Demzufolge bestand im Fraunhofer IAPT das Vorhaben, für den ShipLight-Prozess ein leichtes und kompaktes Schweißsystem zu entwickeln, das von Hand geführt wird. Die geome-



→ **Abbildung 4–6:** Evolutionsstufen des vom Fraunhofer IAPT entwickelten ShipLight-Handschweißgeräts für verschiedene Fügeanordnungen (Quelle: Fraunhofer IAPT)

trische Anordnung von Laserstrahl und Lichtbogen entspricht dem Bearbeitungskopf für die vollautomatisierte Prozessapplikation. Zur Anpassung an die Fugesituation lässt sich das Handgerät ebenso von einer I-Stoß- in eine T-Stoß-Variante verwandeln und umgekehrt. Das Gerät muss mit einer relativ hohen Schweißgeschwindigkeit betrieben werden, um die Vorteile des ShipLight-Prozesses nutzen zu können. Daher benötigt der Schweißer erstens eine Führungshilfe in Form von Rädern oder Rollen, die sich auf dem zu schweißenden Blech abstützen, und zweitens einen motorischen Antrieb, der eine gleichmäßige Bewegung gewährleistet.

Nach zahlreichen Fahr- und Schweißversuchen mit verschiedenen Funktionsmustern fiel die Entscheidung schließlich auf ein kettenantriebenes Minifahrzeug, das sich durch gute Traktion und Fahrstabilität sowie ein besonders niedriges Fahrwerk auszeichnet. Der Schlitten zur Aufnahme von Laserbearbeitungsoptik und Schweißbrenner ist manuell höhenverstellbar, um den laserunterstützten Hybridschweißprozess am Werkstück auszurichten. Darüber hinaus kann der Schweißbrenner dem Gerät entnommen werden, z. B. um eine Bauteillecke im reinen MAG-Prozess, also ohne Laserunterstützung, auszuschweißen. Das bedeutet, dass dem Werftschweißer sein gewohntes Werkzeug weiterhin zur Verfügung steht. Nach der Operation an schwer zugänglicher Stelle wird der MAG-Brenner dann wieder am Handschweißgerät montiert und per Schnellverschluss arretiert.

Abbildung 6 zeigt die finale Evolutionsstufe des Handschweißgeräts in der Konstellation für den Einsatz am T-Stoß. Das System wurde im letzten Projekthalbjahr in der schiffbaulichen Anwendung erfolgreich erprobt. Für den mobilen Lasereinsatz im Werftumfeld ist dabei neben der Prozesstauglichkeit die Frage der Lasersicherheit von besonderer Relevanz. Diesem Aspekt wurde durch die Begrenzung der Laserleistung auf zwei Kilowatt und die Implementierung eines speziellen Sicherheitskonzepts Rechnung getragen, das auch die Zustimmung der Berufsgenossenschaft fand.

#### Danksagung

Das Forschungsprojekt ShipLight wurde mit freundlicher Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) nach einem Beschluss des Deutschen Bundestages gefördert. Wir bedanken uns für die Förderung und beim Projektträger Jülich (PtJ) für die hervorragende Zusammenarbeit. Weiterhin bedanken wir uns für die Unterstützung aller Projektpartner. Der Forschungsverbund des ShipLight-Projekts umfasste insgesamt 14 Partner: Meyer Werft, Fr. Lürssen Werft, Fraunhofer IAPT, Fraunhofer ILT, Carl Cloos Schweißtechnik, Laserline, IPG Laser, Precitec, Laser on demand, SET, DNV GL, Trumpf, simufact engineering und BALance. Die Projektleitungsfunktion nahmen Meyer Werft und Fraunhofer IAPT gemeinschaftlich wahr.

Gefördert vom



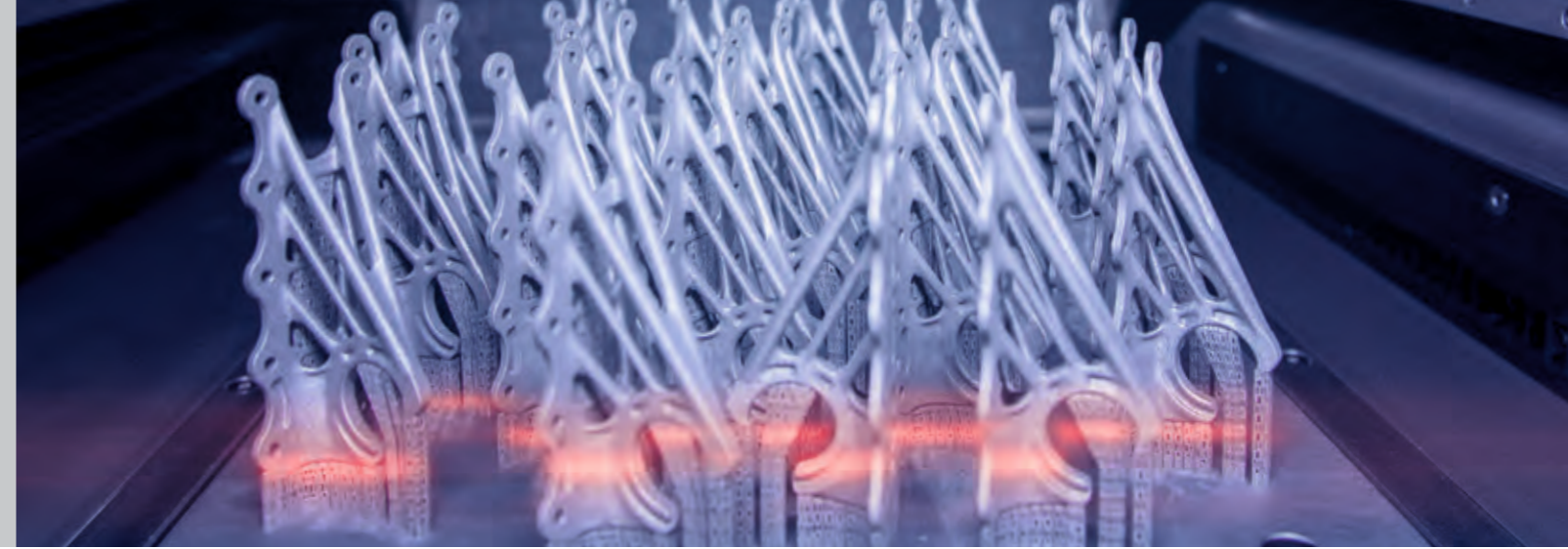
#### KONTAKT

Olaf Steinmeier

+49 40 484010-622

olaf.steinmeier@iapt.fraunhofer.de



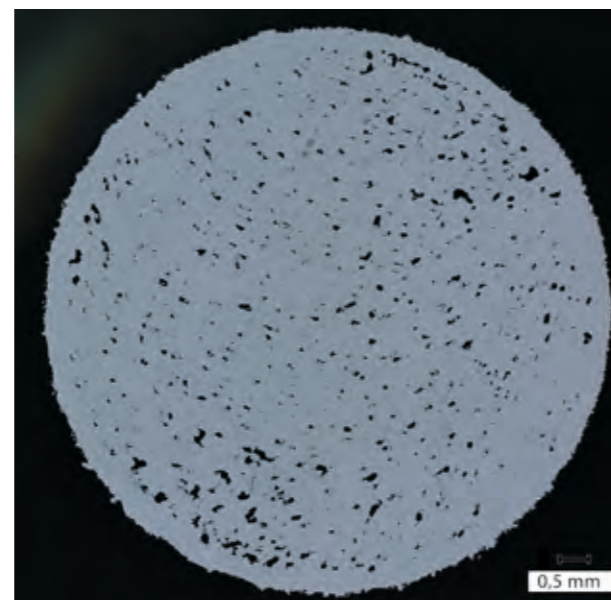
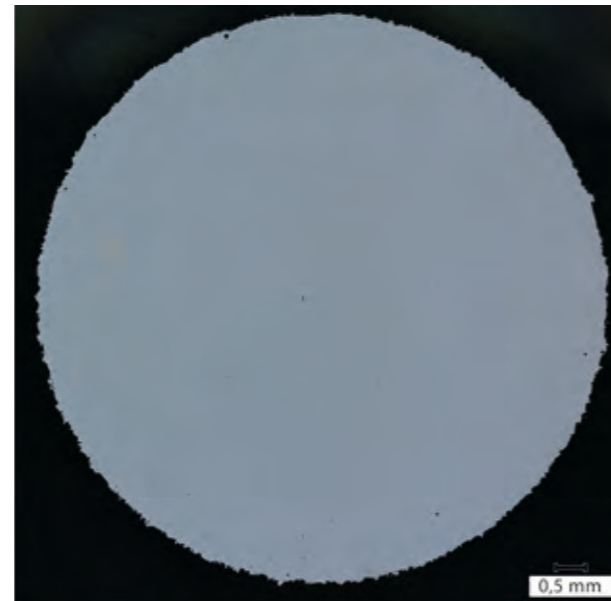


## IN-PROZESS-QUALITÄTSSICHERUNG

Die Qualitätssicherung in der additiven Fertigung ist eine kritische Barriere für den flächendeckenden Einsatz des Verfahrens in Industrie und Wirtschaft. Die Arbeitsgruppe Qualitätssicherung und Zertifizierung des Fraunhofer IAPT bringt fortschrittliche Technologien und QM-Methoden nach dem neuesten Stand der Technik zusammen, um industrierelevante Lösungen für die Qualifizierung und Zertifizierung von AM-Bauteilen und -Prozessen zu erarbeiten. Wir bieten unseren Kunden und Geschäftspartnern eine unabhängige und unvoreingenommene Einschätzung von Qualitätssicherungsmethoden und -Technologien für die additive Fertigungsindustrie.

### Der Schlüssel für Qualität: Prozesssicherheit

Ein additiver Fertigungsprozess wird von über 120 unterschiedlichen Parametern beeinflusst. Die Identifikation derjenigen Parameter, die einen signifikanten Einfluss auf die Qualität der AM-Bauteile haben, ist ein entscheidender Schritt für die Umsetzung eines stabilen Fertigungsprozesses. Dieser muss in der Lage sein, die gewünschten mechanischen Kennwerte in den Bauteilen zuverlässig und mit hoher Wiederholgenauigkeit zu produzieren. Die von uns durchgeführten Forschungsprojekte haben es ermöglicht, die wichtigsten qualitätsrelevanten Parameter der pulverbettbasierten additiven Fertigung zu identifizieren. Ermöglicht wurde dies durch die Implementierung von modernsten Sensorsystemen und durch die Datenverarbeitung mit hochentwickelten statistischen Methoden wie Six Sigma. Eines der Hauptziele der Arbeitsgruppe Qualitätssicherung und Zertifizierung des Fraunhofer IAPT ist es, den Wissenshorizont auf diesem Gebiet zu erweitern. Die neu gewonnenen Erkenntnisse werden gezielt eingesetzt, um die Prozessunsicherheiten zu minimieren, die zu qualitätskritischen Problemen in AM-Bauteilen führen.



### Effiziente Qualitätssicherung erreichen

In einer effizienten und wirtschaftlichen Qualitätssicherung nimmt die Prozessüberwachung eine Schlüsselrolle ein. Die Gruppe Qualitätssicherung und Zertifizierung des Fraunhofer IAPT entwickelt Lösungen, um kritische Bauteildefekte schon während des Fertigungsprozesses direkt zu erkennen und sie darauf aufbauend korrigieren oder die Fertigungsprozesse unterbrechen zu können.

In vielen Projekten konnten die Leistungsfähigkeit verschiedener sensorbasierter Prozessüberwachungssysteme sowie deren spezifische Vor- und Nachteile nachgewiesen werden. Durch Vergleich der Monitoring-Daten mit nachträglichen Bauteilprüfungen durch z. B. Röntgen und CT-Technologie werden Korrelationen zwischen den Monitoring-Daten und Defekten entwickelt und stetig verbessert.

Dieses umfassende Fachwissen ermöglicht es uns, unseren Kunden maßgeschneiderte Lösungen für die Qualitätssicherung ihrer AM-Prozesse zu liefern.

### Qualitätsstandards und Zertifizierung

Qualitätsstandards und Zertifizierung sind entscheidende Faktoren in der weitreichenden Verbreitung von AM-Technologien in der Fertigungsindustrie. Als Mitglied wichtiger Arbeitsgruppen wie der DIN und der ISO für die Standardisierung des AM-Prozesses hilft die Gruppe Qualitätssicherung und Zertifizierung des Fraunhofer IAPT dabei, die modernsten Industriestandards für die Qualität von AM-Bauteilen zu entwickeln. Weiterhin arbeitet die Gruppe an der Entwicklung von Methoden zur Zertifizierung von additiven Fertigungsprozessen und Bauteilen.



### KONTAKT

Peter Lindecke

+49 40 484010-730

peter.lindecke@iapt.fraunhofer.de



## QUALITÄTSSICHERUNG DURCH DIGITALISIERTES DATENMANAGEMENT

Der komplexe additive Fertigungsprozess wird von über 130 unterschiedlichen Prozessparametern beeinflusst. Entlang der gesamten Prozesskette von der Pulverherstellung bis hin zur Nachbearbeitung tragen diese Einflussgrößen alle zur Bauteilqualität bei.

Für eine qualitätsgesicherte und zertifizierte Fertigung ist es daher unabdingbar, die signifikanten Einflussgrößen zu kennen, zu messen und zu analysieren. Der Additive Quality Manager (AQM) des Fraunhofer IAPT sorgt für die effiziente Datenaufnahme, -speicherung und -analyse: Alle relevanten Sensor- und Metadaten der Fertigungsanlage bzw. der ganzen Fabrik werden dabei zentral einsehbar auf einem sicheren lokalen Server automatisch gespeichert und für die Analyse zur Verfügung gestellt.

Mit der Software und Hardware von AQM wird Nutzern eine dynamisch wachsende Datenbank zur Sicherung, Interpretation und Dokumentation der zentralen Prozessdaten geboten. Mithilfe von statistischen Analysen (Six Sigma) und maschinellem Lernen kann auf Basis der Datenbank die Prozessfähigkeit stetig verbessert werden, da Prozessabweichungen frühzeitig erkannt und korrigiert werden können. Der Bauteilausschuss wird so auf ein Minimum reduziert.

Das ergonomisch optimierte Webinterface ermöglicht ein effizientes Datenmanagement auf allen gängigen Medien. So lässt sich der Status der AM-Maschinen ortsunabhängig kontrollieren. Da ein Zugriff auf Livedaten ermöglicht wird, kann statistische Prozesskontrolle mit Warnmeldungen an das Gerät des Nutzers realisiert werden.

Diese Kombination aus automatisierter Prozessüberwachung und Prozessanalyse ist der Schlüssel zur nachhaltigen Sicherung der Prozessfähigkeit in der additiven Produktion und wird Ihre Qualitätssicherung deutlich vereinfachen.



### KONTAKT

Peter Lindecke

+49 40 484010-730

peter.lindecke@iapt.fraunhofer.de



## CO<sub>2</sub>-REDUKTION ADDITIVER WERTSCHÖPFUNG VERSUS GUSS UND ZERSPANUNG

Die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ist eines der wichtigsten klimapolitischen Ziele und von zentraler Bedeutung, um die Erderwärmung zu begrenzen. Die additive Fertigung kann hierfür einen Beitrag leisten.

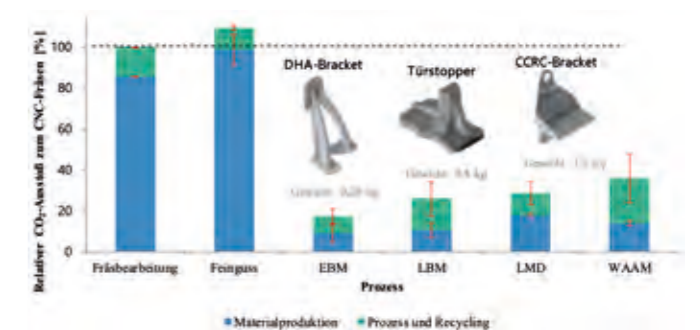
Im Rahmen einer Studie hat das Fraunhofer IAPT anhand von drei typischen Titan-Luftfahrtbauteilen den CO<sub>2</sub>-Footprint der Fertigungsrouten von Fräsen, Feinguss, Elektronenstrahlschmelzen, selektivem Laserstrahlschmelzen, Laser-Pulver-Auftragschweißen sowie Drahtauftragschweißen gegenübergestellt. Hierfür wird zunächst die jeweilige Fertigungsfolge detailliert aufgezeigt, jedem Prozessschritt der Energieverbrauch pro Kilogramm Fertigteil zugeordnet und mit dem korrespondierenden CO<sub>2</sub>-Aufwand für den Energieaufwand multipliziert. Der Energieverbrauch ergibt sich dabei aus den möglichen Fertigungsschritten:

- Rohmaterialherstellung
- Formung (Schmieden, Pulver-/Drahtherstellung)
- Hilfsmaterialherstellung (Gusswerkzeuge/AM-Bauplatten)
- Prozessvorbereitung und Bearbeitungsprozess (Fräsen, Gießen, AM)
- Nachbearbeitung (Wärmebehandlung, Sandstrahlen, Erodieren, Fräsen)
- Endbearbeitung (Fräsen)

Ein direkter Vergleich der ökologischen Bilanzen für konventionelle und additive Fertigungsverfahren bei ausgewählten Bauteilen in der Luftfahrtindustrie liefert das folgende Ergebnis. Hierbei wurde ergänzend das Recycling der Bauteile berücksichtigt:

Die Studie zeigt den positiven Beitrag der additiven Fertigung zur CO<sub>2</sub>-Reduktion. Im Vergleich zum Fräsen und Gießen kann der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei allen AM-Verfahren um mindestens 50 Prozent reduziert werden. Wichtigster Treiber ist dabei die endkonturnahe Herstellung der Bauteile. Das heißt, es wird nur unwesentlich mehr Ausgangsmaterial gebraucht, als das Bauteil später an Material aufweist. Beim Fräsen wird hingegen aus einem soliden Grundkörper ein hoher Anteil an Rohmaterial in Form von Spänen entsorgt. Die primäre Herstellung des Ausgangsmaterials wirkt sich mit 46,5 Kilogramm CO<sub>2</sub> pro Kilogramm Bauteil besonders stark auf die generierte Menge von CO<sub>2</sub> in der Produktentstehung aus. Im Vergleich liegt z. B. Fräsen bei 7,38 Kilogramm CO<sub>2</sub> pro Kilogramm Bauteil sowie die Pulveratomisierung bei 3,12 Kilogramm pro Kilogramm.

Weitere Potenziale der additiven Fertigung auf die CO<sub>2</sub>-Einsparung resultieren aus dem Einsatz der Bauteile im Flugzeug. Durch die Designfreiheit des Verfahrens lassen sich deutlich leichtere Bauteile bei gleichen Eigenschaften herstellen.



### KONTAKT

Frank Beckmann

+49 40 484010-620

frank.beckmann@iapt.fraunhofer.de





---

# LEHRTÄTIGKEITEN

---

- 74 Additive Ingenieurausbildung inkl. 3D-Labor
- 76 Schweißfachingenieur-Ausbildung
- 77 VDI-Club

## FÜR DIE ADDITIVE ZUKUNFT VON MORGEN



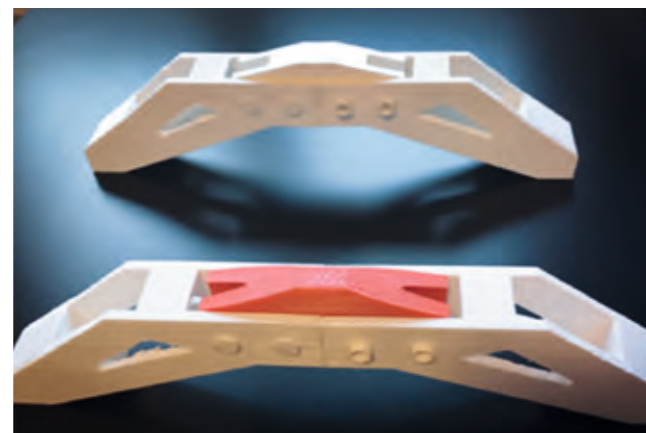
Additive Produktion benötigt gut ausgebildete Mitarbeiter. Um diesen Bedarf in der Zukunft zu decken, kooperiert das Fraunhofer IAPT eng mit der Technischen Universität Hamburg.

Neben der Vermittlung eines grundlegenden Technologieverständnisses steht dabei die praktische Erfahrung im Vordergrund. Die Studierenden lernen, Bauteile für die additive Produktion zu designen, und kommen in verschiedenen Laborpraktika und Projekten mit der Technologie direkt in Kontakt.

Teilnehmer sind Studierende der ingenieurwissenschaftlichen Bachelor- und Masterstudiengänge sowie Wirtschaftsingenieure, aber auch Studierende der gewerblich-technischen Wissenschaften, die im Sinne eines »Train the Trainer«-Ansatzes als künftige Berufsschullehrer den Nachwuchs insbesondere im Bereich der metalltechnischen Ausbildungsberufe schulen.

Die Zusammenarbeit in der Lehre umfasst u. a. die Lehrveranstaltungen Einführung in den 3D-Druck, additive Production, 3D Printing Laboratory, Lasersystem- und -prozessertechnik sowie Schweißtechnik. Beispielhafte Aufgaben bestehen z. B. in der Konstruktion von Bauteilen für das Fused-Filament-Fabrication-Verfahren (FFF-Verfahren), die vorgegebene Bedingungen erfüllen müssen. Die Studierenden arbeiten dabei in Kleingruppen und müssen sich selbst organisieren, um die Aufgabe in beschränkter Laborzeit zu erfüllen.

Durch die Vorlesungen kommen die Studierenden in Verbindung mit dem Fraunhofer IAPT und können ihre Projekt- und/oder Abschlussarbeiten am Fraunhofer IAPT schreiben und so ihre Kenntnisse in der additiven Produktion vertiefen.



## AUSBILDUNGSKOOPERATION SCHWEISSFACHINGENIEUR



Schweißfachingenieure (SFI) übernehmen die Aufsicht über den Bau geschweißter Konstruktionen in allen Anwendungsgebieten, um die hohen Qualitätsanforderungen zu sichern. Von der Konstruktion bis zur Fertigung sind Ingenieure mit speziellen schweißtechnischen Kenntnissen notwendig, um die umfangreichen Aufgaben beim Bau von Brücken, Druckbehältern, Stahlhochbauten, Fahrzeugen und weiteren Gewerken zu bewältigen. Das Fraunhofer IAPT sowie das verbundene Institut iLAS der TUHH bringen sich im Rahmen einer Kooperation mit der GSI SLV Nord aktiv in die Ausbildung dieser Spezialisten ein. Studierende der TUHH haben die Möglichkeit, bereits während des Studiums die Weichen für einen zweiten, postgradualen

akademischen Abschluss mit internationaler Anerkennung zu stellen und Teile der SFI-Ausbildung bereits im Rahmen der universitären Ausbildung von Prof. Emmelmann abzuschließen.

Die umfangreiche schweißtechnische Erfahrung des Fraunhofer IAPT wird auch von der GSI SLV Nord geschätzt, sodass auf das Wissen und die Kompetenzen von zahlreichen Mitarbeitern des Fraunhofer IAPT in den verschiedenen Kursen der SFI-Ausbildung zurückgegriffen wird und die wissenschaftlichen Mitarbeiter als Dozenten eingesetzt werden. In Tages-, Abend- oder Wochenendkursen werden die verschiedenen Schweißprozesse erläutert, mit werkstofftechnischen Anforderungen in Zusammenhang gesetzt, Schweißkonstruktionen berechnet und praktische Anwendungsbeispiele bis hin zu additiven Produktionstechnologien diskutiert. In Verbindung mit Exkursionen ans Fraunhofer IAPT werden aus erster Hand theoretische und praktische Kenntnisse vermittelt sowie neueste Entwicklungen in der additiven Fertigung direkt an den Maschinen demonstriert.



## ADDITIVE ERSATZTEILE FÜR ANGEHENDE INGENIEURE



Um Kinder schon in jungen Jahren für Technik und Wissenschaft zu begeistern, nutzt der VDini-Club zahlreiche Gelegenheiten, Firmen, Technologien und Experimente zu präsentieren. Anfang Februar hatte das Fraunhofer IAPT die Gelegenheit, selbst einigen VDinis die additive Fertigung schmackhaft zu machen.

Hintergrund dieses Treffens war eine gebrochene Achsaufhängung für das Longboard eines Teilnehmers. Auch nach intensiver Recherche konnte hierfür kein Ersatzteil gefunden werden. Mit Hilfe des Metall-3D-Drucks wurde ein passendes Teil gefertigt, sodass das Longboard nun wieder nach Belieben genutzt werden kann.



Anstatt den »Jungingenieuren« des VDini-Clubs das Ersatzteil unkommentiert zu überreichen, wurde noch ein Workshop durchgeführt, in dem ihnen die Entstehung des Bauteils nahegebracht wurde. Dabei wurde die gesamte Prozesskette, vom Erfassen der geometrischen Daten über die Konstruktion und die Vorbereitung des Bauteils bis hin zum Fertigungsprozess, behandelt.



Mit besonders großem Elan haben die Mitglieder des VDini-Clubs sich dem 3D-Design des Ersatzteils gewidmet. Dabei konnten sie unter Anleitung selbst dessen Design entwickeln und dabei gängige CAD-Software kennenlernen. Das Fraunhofer IAPT hat sich sehr über die neugierigen Gäste gefreut und wünscht ihnen für ihre weitere technische Karriere und zahlreiche Fahrten mit dem Longboard alles Gute.



# VERÖFFENTLICHUNGEN

- 80 Best Paper Award »27th CIRP Design Conference«
- 81 Promotionen und veröffentlichte Dissertationen



# BEST PAPER AWARD »27TH CIRP DESIGN CONFERENCE«



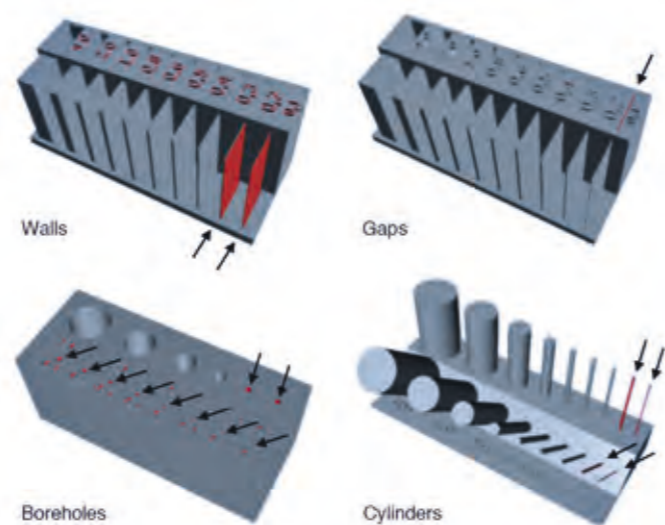
## The 27th CIRP Design Conference | Jan-Peer Rudolph und Prof. Dr.-Ing. Claus Emmelmann Analysis of Design Guidelines for Automated Order Acceptance in Additive Manufacturing

Im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungstechnologien wie z. B. Fräsen und Gießen bietet die additive Fertigung ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit. Dennoch müssen einige Fertigungseinschränkungen und Konstruktionsrichtlinien berücksichtigt werden, um eine einwandfreie Produktion zu gewährleisten. In jüngster Zeit wurden daher Richtlinienkataloge für die Konstruktion von additiv gefertigten Bauteilen

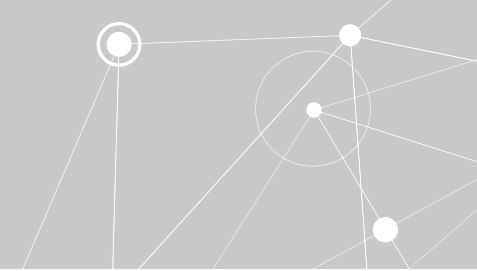
entwickelt. Die Analyse der Bauteilgeometrie hinsichtlich dieser Konstruktionsrichtlinien setzt jedoch viel händische Arbeit sowie umfassendes Expertenwissen voraus.

Insbesondere Druckdienstleister, die eine große Bandbreite an unterschiedlichen Konstruktionsdaten von ihren Kunden zur Fertigung entgegennehmen, stellt dies vor eine kostenintensive und zeitaufwendige Aufgabe. Zudem ist die Angebotserstellung ein problematischer Punkt, da die exakten Bauteilkosten von verschiedensten Faktoren wie z. B. der Bauraumausnutzung, benötigten Supportstrukturen und Nachbearbeitungsschritten abhängig sind, die zudem auf der Orientierung des Bauteils in Bezug zur Bauplattform beruhen.

Das Fraunhofer IPT hat sich daher die Automatisierung dieses Part-Screenings zur Aufgabe gemacht. In diesem Zuge entwickelt das Fraunhofer IPT Softwarelösungen zur algorithmischen Prüfung von Konstruktionsrichtlinien, zur Optimierung der Bauteilausrichtung sowie zur automatischen Angebotserstellung. Im Zuge dieser Bestrebungen erlangten Jan-Peer Rudolph und Prof. Dr.-Ing. Claus Emmelmann vom Fraunhofer IPT den Best Paper Award der »27th CIRP Design Conference« für das Paper »Analysis of Design Guidelines for Automated Order Acceptance in Additive Manufacturing« als Auszeichnung für ihre besonderen wissenschaftlichen Leistungen auf diesem Gebiet.



# PROMOTIONEN UND VERÖFFENTLICHTE DISSERTATIONEN



## 2019 | Promotionen/veröffentlichte Dissertationen | Christian Daniel Laserstrahlabtragen von kubischem Bornitrid zur Endbearbeitung von Zerspanwerkzeugen

Stähle hoher Festigkeit und Härte bieten Leichtbaupotenzial, gelten jedoch als schwer zerspanbar. Daher kommen u. a. spezielle Zerspanwerkzeuge aus kubischem Bornitrid zum Einsatz. Das Laserstrahlabtragen bietet neue Potenziale zur Endbearbeitung derartiger Werkzeuge.

ISBN: 978-3-662-59273-1 | DOI: 10.1007/978-3-662-59273-1



## 2018 | Promotionen/veröffentlichte Dissertationen | Jan-Peer Rudolph Cloudbasierte Potentialerschließung in der additiven Fertigung

In dieser Arbeit wird eine Methodik zur Potentialerschließung in der additiven Fertigung über eine cloudbasierte Plattformlösung vorgestellt. Diese versetzt Unternehmen und private Anwender in die Lage, wirtschaftliche Anwendungsfälle schnell und mit hoher Validität zu erschließen.

ISBN: 978-3-662-58263-3 | DOI: 10.1007/978-3-662-58263-3



## 2018 | Promotionen/veröffentlichte Dissertationen | Vanessa Seyda Werkstoff- und Prozessverhalten von Metallpulvern in der laseradditiven Fertigung

Untersucht wurde die Eignung von verschiedenen gas- und plasmaverdünsten Pulverwerkstoffen der Titanlegierung Ti-6Al-4V für die laseradditive Fertigung. Das mit dieser Arbeit geschaffene erweiterte Verständnis für das Werkstoff- und Prozessverhalten der Metallpulver und die Handlungsempfehlungen für den Pulverwerkstoff können genutzt werden, um die Qualität der in der laseradditiven Fertigung eingesetzten Pulver zu bewerten und sicherzustellen.

ISBN: 978-3-662-58233-6 | DOI: 10.1007/978-3-662-58233-6



**2018 | Promotionen/veröffentlichte Dissertationen | Markus Möhrle**  
**Gestaltung von Fabrikstrukturen für die additive Fertigung**

Additive Fertigungsverfahren befinden sich an der Schwelle zur Industrialisierung. Daraus ergibt sich ein praktischer Bedarf nach effizienten und effektiven Prozessketten für die Fertigung von Bauteilen in Endqualität. Diese Dissertation adressiert den Bedarf nach der Gestaltung effizienter Fabrikstrukturen einerseits und einer weiteren Steigerung der Produktivität andererseits.

ISBN: 978-3-662-57707-3 | DOI: 10.1007/978-3-662-57707-3



**2018 | Promotionen/veröffentlichte Dissertationen | Marten Canisius**  
**Prozessgüte für das Laserstrahltrennen kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe**

Hohe Fertigungskosten u. a. für das Bohren, Trennen und Besäumen kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe verhindern bisher eine breite industrielle Nutzung. Die Arbeit bewertet verschiedene laserbasierte Ansätze zum Trennen anhand der erreichbaren Qualitäten und Kosten und zeigt Wege zu einer optimierten Bearbeitungsstrategie auf.

ISBN: 978-3-662-56207-9 | DOI: 10.1007/978-3-662-56208-6

**Franz-Herbert-Spitz-Preis | Christoph Scholl**

**Titel der Masterarbeit: Optimierung bei der Kalibrierung von Sensor-Roboter-Systemen**

Gewinner des Franz-Herbert-Spitz-Preises für die beste Masterarbeit der Masterstudiengänge im Department Maschinenbau und Produktion an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg.





# VERANSTALTUNGEN

86 Fraunhofer IAPT 2018 | 2019

## ADDITIVE 2018/WELCOME FRAUNHOFER IAPT

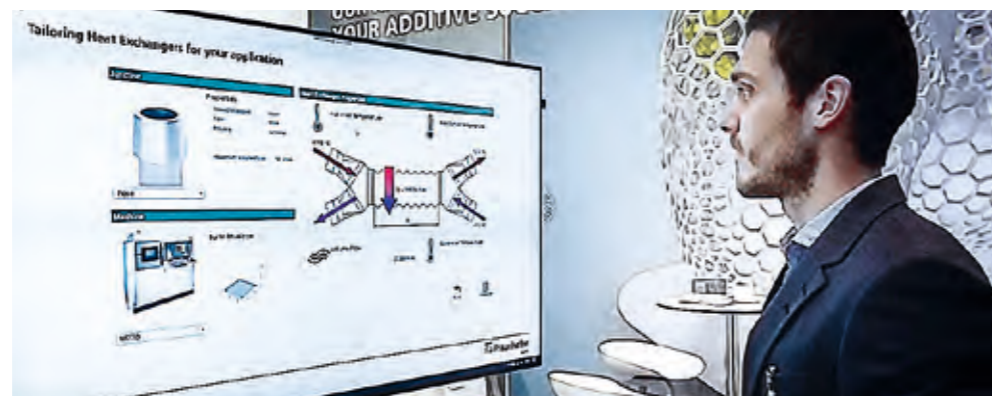
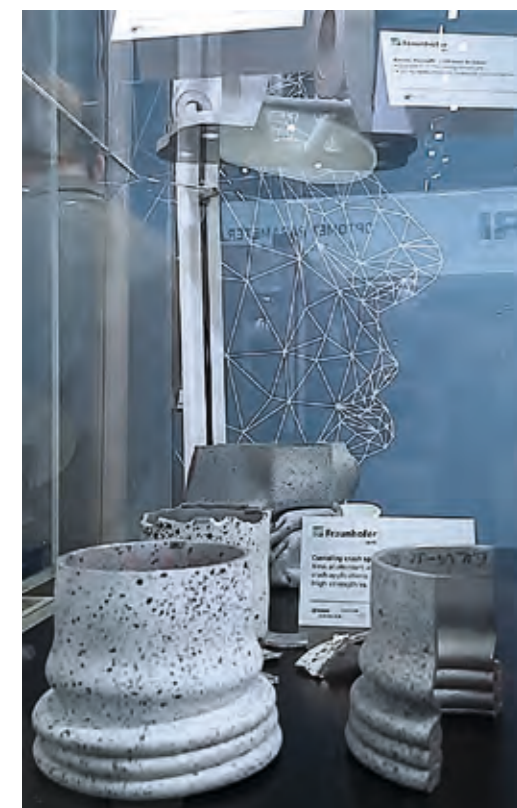
Zu Beginn des Jahres 2018 wurde das Fraunhofer IAPT als Forschungsspezialist für Additive Produktionstechnologien neu gegründet. Damit erhielt die Freie und Hansestadt Hamburg ihre erste eigenständige Fraunhofer-Einrichtung. Am 25. Januar fand im Kreuzfahrtterminal am Hamburger Fischmarkt unter dem Motto »Creating Future Layer by Layer« die feierliche Eröffnung mit über 500 geladenen Gästen statt. Die Zweite Bürgermeisterin und Wissenschaftssenatorin Katharina Fegebank sowie der Wirtschaftsminister Frank Horch ließen es sich nicht nehmen, das Fraunhofer IAPT persönlich willkommen zu heißen.

Als besonderer Höhepunkt des Abends stellte Bugatti den mit dem Fraunhofer IAPT gemeinsam entwickelten ersten additiv gefertigten Bremssattel vor, der durch sein individuelles bionisches Design besticht und die 3D-Druck-Technologie in der

automobilien Serienproduktion etabliert (siehe auch Seite 24 und 25). Den wissenschaftlichen Rahmen der Veranstaltung bildete die vom Fraunhofer IAPT ausgerichtete zweitägige Konferenz »Additive 2018«, auf der in Fachbeiträgen die bedeutendsten Innovationen aus dem Bereich der additiven Produktion präsentiert wurden. Neben den Experten des Fraunhofer IAPT referierten Vertreter namhafter Industrieunternehmen wie Airbus, Baker Hughes, Deutsche Bahn und Volkswagen, sodass branchenübergreifend und praxisorientiert ein breites Spektrum neuer 3D-Druck-Anwendungen gezeigt und diskutiert werden konnte.



MESSE-IMPRESSIIONEN





## Impressum

Die Fraunhofer-Einrichtung für  
Additive Produktionstechnologien IAPT

Am Schleusengraben 14  
21029 Hamburg-Bergedorf  
Deutschland  
Telefon +49 40 484010-500  
Fax +49 40 484010-999  
[www.iapt.fraunhofer.de](http://www.iapt.fraunhofer.de)  
[info@iapt.fraunhofer.de](mailto:info@iapt.fraunhofer.de)

ist eine rechtlich nicht selbstständige  
Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft zur  
Förderung der angewandten Forschung e.V.  
Hansastraße 27 c  
80686 München  
[www.fraunhofer.de](http://www.fraunhofer.de)  
[info@zv.fraunhofer.de](mailto:info@zv.fraunhofer.de)

