



Fraunhofer

IAPT

FRAUNHOFER-EINRICHTUNG FÜR ADDITIVE PRODUKTIONSTECHNOLOGIEN IAPT



JAHRESBERICHT 2020

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

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

das Jahr 2020 war durch die Corona-Pandemie geprägt. Das Fraunhofer IAPT hat umgehend reagiert, einen Krisenstab gebildet, allen Mitarbeitern einen Laptop für das Homeoffice zur Verfügung gestellt und die AHA-Regeln konsequent umgesetzt. Dadurch sind wir bisher gut durch die Krise gekommen. Die additive Fertigung bringt durch ihre Flexibilität einen großen Nutzen bei den plötzlich durch die Pandemie auftretenden Engpässen. So druckte das Fraunhofer IAPT Face Shields für medizinische Einrichtungen und Schulen, beteiligte sich an Projekten zur Herstellung von 3D-gedruckten Spritzgusswerkzeugen für Beatmungsmasken und Face Shield Halterungen und arbeitete aktiv an der Entwicklung eines nicht-invasiven Beatmungsgeräts mit.

Der Lockdown und die folgende Unsicherheit in der Industrie haben dazu geführt, dass einige geplante und bereits genehmigte Projekte verschoben bzw. abgesagt werden mussten. Die Projektausfälle konnten durch Fraunhofer-interne Corona-Programme kompensiert werden. Die Mittel, die wir von der Fraunhofer-Gesellschaft bekommen haben, sind somit im Jahr 2020 deutlich gestiegen.

Prof. Emmelmann hat im ersten Quartal des Jahres das Fraunhofer IAPT verlassen, um sich neuen Herausforderungen zu widmen. Seine Nachberufung ist ausgeschrieben und wir hoffen, dass bis Ende 2021 ein neuer Kollege oder eine neue Kollegin das Fraunhofer IAPT leiten wird.

2020 hat das Fraunhofer IAPT ein Technologieaudit durchgeführt, das in der Industrie sehr gut ankam und eine Reihe von wertvollen Anregungen für die strategische Ausrichtung des Fraunhofer IAPT brachte. Unsere Gesamtstrategie orientiert sich an der Digitalisierung. So werden zzt. Softwaretools für einen Design-, Prozess- und Quality-Manager entwickelt.

Auch im Jahr 2020 konnten wir mit unserer Forschungsarbeit eindrucksvolle Ergebnisse erzielen. Zum Beispiel hat das Fraunhofer IAPT eine 3D-gedruckte Radaufhängung mit integriertem Bremssattel für den Fiat Chrysler-Konzern entwickelt. Gemeinsam mit einem renommierten Sportwagenhersteller wurde die Wagentüraufhängung durch Anwendung des AM-Konzepts optimiert, sodass die Fertigungskosten deutlich gesenkt werden konnten.

Das Jahr 2021 wird weiterhin von der Pandemie geprägt sein. Das Fraunhofer IAPT ist jedoch in der guten Position, sein Personal und sein Know-how halten zu können, und treibt einige größere Entwicklungen, Patente und neue Projekte voran, die die Basis bilden, um den geplanten Wachstumskurs in 2022 fortsetzen zu können.



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

Kontakt Fraunhofer IAPT

 Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT
Am Schleusengraben 14
21029 Hamburg-Bergedorf
Deutschland

 www.iapt.fraunhofer.de

 de.linkedin.com/company/fraunhofer-iapt

 www.youtube.com/channel/UCr9AToIRTRj2Cg-QhstZQig



KURZPORTRÄT

- 08 Unsere Technologien
- 10 Unsere Kernkompetenzen
- 12 Organigramm
- 13 Unser Team
- 14 Das Institut in Zahlen
- 15 Das Kuratorium und der Verbund Produktionstechnik
- 16 Kooperationen

FRAUNHOFER IAPT-THEMENSPECIALS

- 20 Healthcare-Special
- 28 Automotive-Special
- 38 Digitalisierungs-Special

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

- 48 Prozessmonitoring und Datenanalyse
- 50 Multi-Physik-Optimierung
- 52 Softrobotik
- 53 Granulatbasierter Metalldruck von Titan
- 54 Maßgeschneiderte Aluminiumlegierungen für die additive Fertigung
- 56 Wertschöpfungssteigerung in Pulverbettverfahren
- 58 Extrusionsbasierte Polymer-AM-Verfahren
- 60 SLS-Quenchbox
- 61 Hybride additive Fertigung
- 62 SensePRO – Sensorik für Auftragschweißen
- 63 SenseLight
- 64 Additive Mobile Factory
- 66 Titangroßstrukturen für die Luftfahrt
- 68 Mobile Werkzeugreparatur durch Auftragschweißen

VERÖFFENTLICHUNGEN UND LEHRE

- 72 Unsere Studien im Überblick
- 78 Zertifikatskurse und E-Learnings aus der Academy
- 80 Lehre am Fraunhofer IAPT
- 82 Impressum



KURZPORTRÄT

- 08 Unsere Technologien
- 10 Unsere Kernkompetenzen
- 12 Organigramm
- 13 Unser Team
- 14 Das Institut in Zahlen
- 15 Das Kuratorium und der Verbund Produktionstechnik
- 16 Kooperationen



Fraunhofer IAPT-Technologieportfolio

Das Fraunhofer IAPT verfügt über eine große Vielfalt an Technologien und Anlagen für die additive Produktion und Lasertechnik. Je nach Anforderung stellen wir sowohl für die Verarbeitung von Metallen als auch von Kunststoffen die geeignete Produktionstechnologie zur Verfügung. Von Pulverbettverfahren für filigrane medizinische Implantate über den Filamentdruck und das Lichtbogenschweißen für Großstrukturen bis hin zum Laserhybridfügen von konventionell und additiv gefertigten Bauteilen können wir jeweils geeignete Verfahren auswählen. Dabei bieten wir unseren Kunden technologieübergreifend und herstellerneutral die beste Lösung für ihre Anwendung an.

Pulverbettverfahren für Metalle

Das Fraunhofer IAPT arbeitet seit Jahren im Bereich der additiven Fertigung auf Basis von Metallpulvern im LBM-Prozess. Das Anlagenportfolio reicht von reinen Forschungsanlagen über Mittelformatmaschinen bis zu Mehrlaseranlagen für maximale Produktivität. Unser Ziel ist es, intelligente Prozessstrategien und -regelungen zu entwickeln, den Prozess schneller und robuster zu gestalten sowie jeden Arbeitsschritt nachvollziehbar dokumentieren zu können.

Das Metall-Binder-Jetting liefert eine hohe Bauteilpräzision, Prozesssicherheit und die Möglichkeit zur kostengünstigen Produktion von Bauteilen in großer Stückzahl. Analog zum Laserstrahlschmelzen wird Schicht für Schicht ein Pulverbett aufgezogen, wobei zur Erzeugung des Bauteils an die Stelle des Aufschmelzens durch einen Laserstrahl das Eindringen einer organischen Tinte über einen Druckkopf tritt. Anschließend werden die gedruckten Grünlinge entbindert und zum

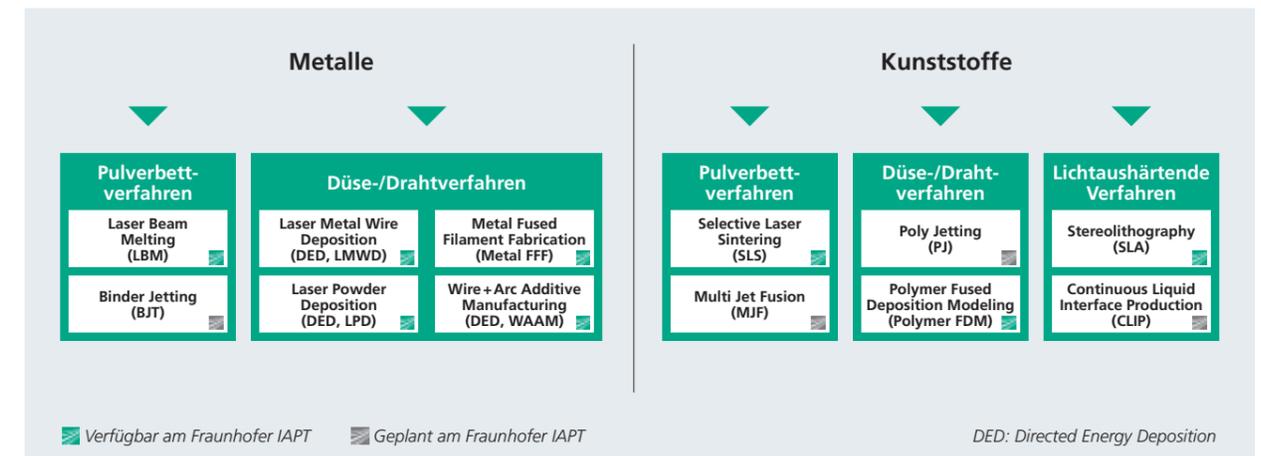
endgültigen metallischen Bauteil gesintert. Das Fraunhofer IAPT entwickelt entlang der gesamten Prozesskette geeignete Parameter zur Herstellung von Bauteilen für ausgewählte Legierungen.

Düse-/Drahtverfahren

Das Fraunhofer IAPT nutzt bei der düsen- oder drahtbasierten metallischen additiven Fertigung sowohl Laser- als auch Lichtbogenauftragschweißverfahren. Beide Varianten unterliegen, wenn sie robotergeführt sind, nahezu keiner Bauraumbeschränkung. Sie sind für eine kostengünstige Ersatzteilerfertigung sowie für Reparaturen sehr gut geeignet. In der Regel ist eine spanende Nachbearbeitung erforderlich. Ein neu am Fraunhofer IAPT etabliertes Verfahren ist der Metall-Filamentdruck (Metal Fused Filament Fabrication – Metal FFF). Er eignet sich insbesondere zur schnellen und kosteneffizienten Fertigung von Prototypenbauteilen aus metallischen Werkstoffen und ist daher besonders für den Maschinen- und Anlagenbau von Interesse. Als Ausgangsmaterial dient ein Polymerfilament mit dem darin eingebetteten Metallpulver. Dieses kann auf einem günstigen handelsüblichen 3D-Drucker gedruckt werden. Die entstehenden Teile werden abschließend einer Wärmebehandlung zugeführt, bei der dem Bauteil das Polymer entzogen wird und das dichte metallische Bauteil entsteht.

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 bspw. auf Basis von PP erprobt, die kosteneffizient verarbeitet werden können. Insbesondere im Bereich des selektiven Lasersinterns werden darüber hinaus Anlagensysteme entwickelt, die eine schnellere und effizientere Prozessführung und eine gezielte Prozessüberwachung ermöglichen. Mit dem Fokus auf industrielle Anwendungen befasst sich das Fraunhofer IAPT darüber hinaus mit der Material- und Prozessentwicklung für den polymerbasierten Filamentdruck (FDM).

Finishing

Die mit additiven Fertigungsverfahren direkt erzielten Oberflächenqualitäten bedürfen meist einer abschließenden Wärmebehandlung und eines glättenden Nachbearbeitungsprozesses. Je nach Anforderung an die Bauteile stehen am Fraunhofer IAPT verschiedene Finishing-Verfahren zur Verfügung. So kann das Bauteil durch eine strahlende Nachbearbeitung, aber auch durch Fräsen, Schleifen und Trovalisieren oder durch Elektropolieren nachbearbeitet werden. Am Fraunhofer IAPT wird das Finishing bauteilbezogen optimiert.

KONTAKT

Dr. Philipp Imgrund
 +49 40 484010-740
 philipp.imgrund@iapt.fraunhofer.de



AM Design

In der Abteilung AM Design beschäftigen wir uns mit den völlig neuen konstruktiven Möglichkeiten, die die additiven Produktionstechnologien bieten. Ein Bauteil kann besonders dann kostengünstig und ressourceneffizient hergestellt werden, wenn bereits in der Konstruktionsphase das Design an den späteren Fertigungsprozess angepasst wird. Eine unserer Stärken ist, dass wir Bionik und rechnergestützte Optimierung mit langjähriger Erfahrung in den additiven Produktionstechnologien kombinieren.

Ebenso hat das Design einen erheblichen Einfluss auf die Qualität eines Bauteils. Um die Qualität effizient sicherzustellen, ist die Überwachung aller relevanten Fertigungsschritte extrem wichtig. Um den Prozessablauf möglichst komplett zu dokumentieren, arbeiten wir an Sensor- und Softwarelösungen, die alle relevanten Parameter bauteilspezifisch aufzeichnen und den Prozess auf Basis der gesammelten Daten kontinuierlich optimieren.

AM Prozesse

Additive Fertigungsprozesse ermöglichen es, Bauteile und technische Komponenten hinsichtlich ihres Aufbaus und ihrer Funktion völlig neu zu denken. Mit dem Ziel, additiv gefertigte Komponenten aus Metallen oder Polymeren wirtschaftlich fertigen zu können und die Prozesse industriell zu etablieren,

fokussiert sich die Abteilung AM Prozesse auf die Entwicklung durchgängiger Prozessketten von der Werkstoffauswahl über die Fertigungsverfahren bis zur Nachbehandlung. Hierzu können wir am Fraunhofer IAPT auf einen modernen Anlagenpark im Bereich des Laserstrahlschmelzens und -sinterns, des Filamentdrucks und des Metal-Binder-Jettings zurückgreifen. Zur Weiterentwicklung der Technologien im Sinne der Erhöhung der Produktivität und Reproduzierbarkeit entwickeln wir geeignete Systemkomponenten, etwa zur Laserstrahlformung und Temperaturregelung im Prozess, aber auch zum sicheren Pulverhandling und Finishing.

AM Systeme

Die Abteilung AM Systeme hat sich zum Ziel gesetzt, die additive Produktion durch eigens entwickelte Sensor- und Systemlösungen präziser und automatisierter zu machen. Ein Fokus der Abteilung liegt in der Entwicklung hochproduktiver DED-Verfahren und ihrer peripheren Systemtechnik für die additive Fertigung. Ein Meilenstein in diesem Kontext ist die im Team entwickelte ortsunabhängige und autonome Fertigungseinheit in Form der »Additive Mobile Factory«. Hierbei kommen auch Machine-Learning-Algorithmen, selbstentwickelte Softwaretools und Augmented Reality zum Einsatz, um den Automatisierungsgrad der additiven Fertigung noch zu erhöhen und eine gleichbleibende Qualität der Bauteile bei reduzierten Kosten zu ermöglichen.

Medical Center

Das Medical Center ist das Bindeglied zwischen Ärzten und ingenieurwissenschaftlichen AM-Experten, um eine nach medizinischen Gesichtspunkten optimale Problemlösung zu entwickeln, wobei die betriebswirtschaftliche Tragfähigkeit der Entwicklungen stets kontrolliert wird. Im klaren Fokus stehen hierbei zwei wesentliche Geschäftsfelder. Die Ex-vivo-Anwendungen umfassen sämtliche medizintechnischen Produkte, die außerhalb des menschlichen Organismus Einsatz finden (bspw. Exoskelett). Beim zweiten Geschäftsfeld handelt es sich um In-vivo-Anwendungen, die innerhalb des menschlichen Organismus Einsatz finden (bspw. Implantate). Unsere Forschungsansätze reichen von ergonomiegetriebenen Produkten über Implantate bis hin zur Prozessoptimierung der medizinspezifischen Bestellvorgänge.

Center Laser und Großstrukturen

Das Fraunhofer IAPT betreibt eigens ein Kompetenzzentrum zur Laserbearbeitung und für den Aufbau von Großstrukturen. Das spezielle Know-how umfasst laserbasierte Fügetechnologien, um insbesondere additiv und konventionell gefertigte Komponenten zu hybriden Strukturen zu verbinden. Für diese Aufgaben bietet das Fraunhofer IAPT Center-Faserlaser mit bis zu 30 Kilowatt Laserleistung sowie eine Portalanlage zur Bearbeitung von Bauteilen mit bis zu 30 Metern Länge. Als LZN-Nachfolger besitzt das Fraunhofer IAPT in seinem Center

langjährige Erfahrung im Laser- und Laserhybridschweißen aus großen öffentlich geförderten Schiffsbauprojekten, aber auch durch die Entwicklung hochproduktiver Fügeprozesse für den Automobil-, Kran- und Schienenfahrzeugbau. Großstrukturen werden im Fraunhofer IAPT aber nicht nur geschweißt, sondern zunehmend additiv aufgebaut. Seit zwei Jahren ist der robotergeführte 3D-Druck von Beton Bestandteil der Forschung des Fraunhofer IAPT Centers und erlaubt einen hohen Automatisierungsgrad im Bauwesen sowie die Realisierung zusätzlicher Funktionen wie z. B. die adiabatische Kühlung von Technikgebäuden.



ORGANIGRAMM

UNSER TEAM

<p>PR/MARKETING</p> <p>Bettina Laux -517</p>	<p>INSTITUTSLEITUNG FRAUNHOFER IAPT</p> <p>Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Ralf-Eckhard Beyer -510</p> <p>Frank Beckmann Stellv. Institutsleiter -620</p>		<p>VERWALTUNG</p> <p>Martina Gerloff -820</p>
<p>WISS. REFERENTIN</p> <p>Nora Jaeschke -629</p>	<p>PERSÖNLICHE ASSISTENTIN DER INSTITUTSLEITUNG</p> <p>Martina Dorfner -504</p>		<p>IT</p> <p>Marco Fuhlendorf -758</p> <p>Marco Hass -752</p>
<p>STRATEGISCHE GESCHÄFTSFELDENTWICKLUNG</p> <p>Sina Hallmann -733</p>	<p>AM DESIGN</p> <p>Tim Wischeropp Abteilungsleiter -722</p>	<p>AM PROZESSE</p> <p>Dr. Philipp Imgrund Abteilungsleiter -740</p>	<p>AM SYSTEME</p> <p>Frank Beckmann Abteilungsleiter -620</p>
<p>BIONIC FUNCTION & DESIGN</p> <p>Dr. Arthur Seibel -748</p>	<p>PULVERBETT METALL</p> <p>Philipp Kohlwes -745</p>	<p>AUTOMATION & SENSORIK</p> <p>Malte Buhr -628</p>	<p>FRAUNHOFER IAPT-CENTER</p> <p>MEDIZINTECHNIK</p> <p>Adj. Prof. Dr. Jan Wolff -732</p>
<p>QUALITY ASS. UND CERTIFICATION</p> <p>Peter Lindecke -730</p>	<p>POLYMER UND SINTER AM</p> <p>Lennart Waalkes -762</p>	<p>DED-SYSTEME</p> <p>Markus Heilemann -627</p>	<p>LASER UND GROSSSTRUKTUREN</p> <p>Olaf Steinmeier -622</p>
<p>DIGITALISIERUNG</p> <p>Fritz Lange -766</p>	<p>MATERIALIEN & FINISH</p> <p>Maximilian Kluge -728</p>	<p>BUSINESS DEVELOPMENT</p>	
<p>ADDITIVE ALLIANCE UND ACADEMY</p> <p>Maximilian Vogt Additive Alliance -749</p> <p>Jochen Loock Additive Academy -736</p>		<p>AUTOMOTIVE</p> <p>Ruben Meuth Head of Business Development -772</p>	<p>MACHINERY UND TOOLING</p> <p>Heiko Blunk -765</p>
		<p>AEROSPACE</p> <p>Ina Ludwig -768</p>	<p>SHIP & RAIL</p> <p>Olaf Steinmeier -622</p>



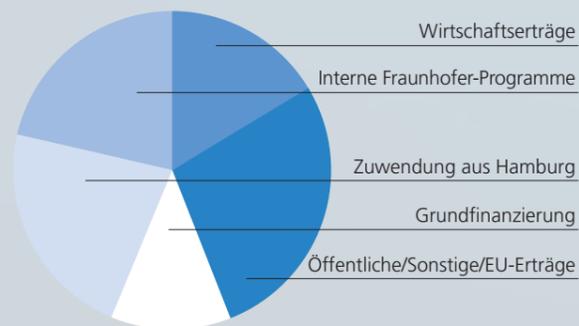
DAS INSTITUT IN ZAHLEN

DAS KURATORIUM UND DER VERBUND PRODUKTIONSTECHNIK

Erträge

Fraunhofer IAPT

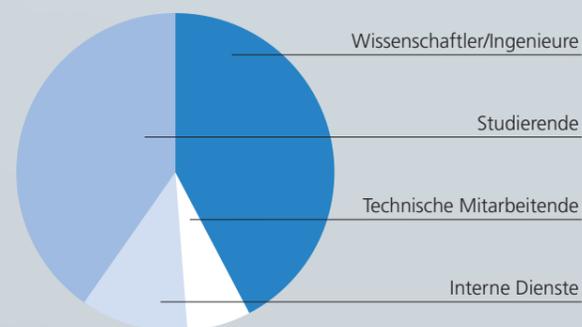
	in Mio €
Wirtschaftserträge	2,2
Öffentliche/Sonstige/EU-Erträge	3,4
Grundfinanzierung	1,4
Zuwendung aus Hamburg	2,8
Interne Fraunhofer-Programme	2,6
Gesamt	12,4



Mitarbeiter

Fraunhofer IAPT

	Anzahl
Wissenschaftler/Ingenieure	59
Technische Mitarbeitende	8
Interne Dienste	14
Studierende	51
Gesamt	132



Aufwand

Fraunhofer IAPT

	in Mio €
Personalaufwand	6,1
Sachaufwand	3,1
Investaufwand	3,2
Gesamt	12,4

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

Uwe Fresenborg

Vorsitzender der Geschäftsführung Deharde GmbH

Dr. Rolf Greve

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

Lars Reeder

Geschäftsführer,
Hein & Oetting Feinwerktechnik GmbH, Hamburg

Prof. Dr. Andreas Timm-Giel

Präsident,
Technische Universität Hamburg

Angela Titzrath

Vorstandsvorsitzende,
Hamburger Hafen und Logistik Aktiengesellschaft

Urban August

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

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 sowie 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 der Verbund 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.



EIN ECHTES EVENT-SPECIAL UND AUFTAKT DER NEUEN ADDITIVE ALLIANCE (22. BIS 24. JANUAR 2020)

Vom 22. bis 24. Januar fand in Hamburg die Additive 2020, die Fachkonferenz für die additive Produktion des Fraunhofer IAPT, statt. In Kooperation mit der Nortec – Fachmesse für Produktion – wurde die Konferenz auf dem Messegelände Hamburg mit einem Forum feierlich eröffnet. Hier hatten verschiedenste Hersteller von AM-Anlagen die Möglichkeit, ihre neuesten Entwicklungen interessiertem Fach- und Messepublikum zu präsentieren. Zu den Vortragenden gehörten Vertreter von YXLON, Comrisetec, Bionic Production, Fehrmann, EOS, SLM, HP, Trumpf, GE Additive, BeAM, 3D Systems, Stratasys, Digital Metal, der HAW und des Fraunhofer IAPT.



Besuchern der Nortec offen, die über 12 000 Gäste an vier Tagen anzog.

Am 23. Januar wurde zum zweiten Fachkonferenztag hoch über den Dächern Hamburgs ins Panoramadeck im Emporio geladen. Hier fanden sich über 100 Teilnehmer ein, um spannende Einblicke in die industriellen Gemeinschaftsentwicklungen des Fraunhofer IAPT und seiner Projektpartner zu erhalten. Jeweils ein Vertreter der Industrie stellte gemeinsam mit einem Projektmanager des Instituts die Ergebnisse vor. Unter anderem wurde über die Zukunft der additiven Serienfertigung bei Maserati und Fiat Chrysler gesprochen und über 3D-gedruckte Betonkomponenten der Firma 24'7 agrigas berichtet. Die Flussfisch GmbH stellte ihr Vorgehen zum erfolgreichen Einsatz von individualisierter Dentalprothetik inkl. der notwendigen Zertifizierung vor. Auch am zweiten Tag bestimmten v. a. die Themen Digitalisierung, Automatisierung, Qualitätssicherung sowie Zertifizierung die Gespräche. So berichtete Siemens von seiner Vision des cloudgestützten digitalen Zwillinges zur Begleitung der gesamten additiven Prozesskette. Aber auch zu den Themen Neuentwicklung von Materialien für die additive



Das Forum stand ganz im Zeichen der industriellen Serienproduktion durch additive Fertigungstechnologien. Die Maschinenhersteller zeigten eindrucksvoll, wie sie die Herausforderung der Produktivitätssteigerung meistern wollen und die additive Zukunft mitgestalten möchten. Aber auch die Themen Digitalisierung und branchenspezifische Zertifizierung im Rahmen der Industrie 4.0 wurden ausgiebig diskutiert. Hierbei wurden Anwendungsfälle für künstliche Intelligenz im Designprozess und für die Auswertung von Fertigungsdaten in der Qualitätssicherung vorgestellt. Das Forum stand allen

Fertigung sowie effiziente Nachbearbeitung additiv gefertigter Bauteile wurden spannende Einblicke von PLM Powder Light Metals bzw. Aalberts gegeben. Während des Konferenztages hatten die Teilnehmer ausgiebig Zeit zum Netzwerken und Fachsimpeln, während sie den fantastischen Ausblick über die Stadt Hamburg genießen konnten.

Der Tag wurde mit einer Abendveranstaltung exklusiv für die Mitglieder der Additive Alliance abgeschlossen. Bei einem gemeinsamen Dinner in einem historischen Speicherboden der

startete das neue Konzept, bei dem die Mitglieder der Additive Alliance die Forschungsinhalte des Fraunhofer IAPT aktiv mitgestalten können. In drei unterschiedlichen Gremien stellten die Experten der Fachabteilungen spannende Studienthemen zur Auswahl vor. Die Pitches wurden von den Teilnehmern diskutiert, um jeweils ein Trendthema pro Abteilung zu identifizieren. Die jeweiligen Forschungsfragen wurden von Experten am Fraunhofer IAPT im folgenden halben Jahr ausgearbeitet, um sie beim nächsten virtuellen Treffen zu präsentieren.



Folgende Studienthemen wurden hierbei ausgewählt:

- Overview of Steel-based LPBF Materials
- Overview of LPBF In-process Monitoring Systems
- Evaluation of Mobile Additive Manufacturing

Die Start-ups Cybus und SpiceVR erlaubten einen Blick über den thematischen Tellerrand und zeigten Anwendungen für Big Data in der konventionellen Fertigung sowie Augmented- und Virtual-Reality-Einsatzszenarien in der Industrie. Mit diesen Vorträgen endete eine spannende Woche in Hamburg, die ganz im Zeichen der additiven Zukunft stand.

Speicherstadt Hamburg wurde der Tag gebührend abgerundet und für weitere vertiefende Gespräche genutzt. Zuvor gab es eine exklusive Führung durch das Miniatur-Wunderland, die größte Modelleisenbahnanlage der Welt. Auch hier wurde der Einsatz des 3D-Drucks thematisiert. Nach zwei spannenden Konferenztagen stand die Additive Alliance – das Industrienetzwerk für die additive Fertigung in der Fraunhofer-Gesellschaft – ganz im Zeichen der neuen Studien. Die Teilnehmer der Mitgliedsunternehmen trafen sich am letzten Tag des Events im ehemaligen Hauptzollamt in der Speicherstadt. In diesem Jahr

KONTAKT

Maximilian Vogt

+49 40 484010-749

maximilian.vogt@iapt.fraunhofer.de





FRAUNHOFER IAPT- THEMENSPECIALS

Healthcare-Special

- 20 Fraunhofer IAPT vs. Corona
- 26 KI-basierte Rekonstruktion und additive Fertigung patientenindividueller Implantate

Automotive-Special

- 28 3D-Druck: Fiat Chrysler kooperiert mit Fraunhofer IAPT
- 30 Profitable AM-Serienfertigung für Automobilanwendungen bis Stückzahl 5000
- 33 Automotive-Special
- 36 StaVari – Laserstrahlschweißen neuer AM-Werkstoffe für den Automobilbau

Digitalisierungs-Special

- 38 Part-Screening-Plattform
- 40 DesignApps
- 42 Augmented AM
- 44 Additive Quality Manager®



RESILIENZ IN DER CORONA-KRISE DURCH ADDITIVE FERTIGUNG



→ **Abbildung 1:** Am Fraunhofer IAPT gefertigte Maskenhalter

Und auf einmal war alles anders. Veränderungen und neue Herausforderungen sind das, was uns in der Forschung antreibt. Doch wenn ein Ereignis so viele Menschen so unmittelbar betrifft, verändert das nicht nur den eigenen beruflichen und privaten Kosmos, sondern fordert jeden direkt oder indirekt auf, sich einzubringen, zu helfen und im WIR und nicht im ICH zu denken.

Das Ausmaß und die Dynamik, mit denen das Corona-Virus SARS-CoV-2 eine weltweite Pandemie ausgelöst hat, zeigten rasch, wie unvorbereitet die Menschheit auf so eine Situation ist und wie schnell Engpässe an Orten wie Krankenhäusern, Praxen und Schulen entstehen können, die man so nie erwartet hätte.

Das war auch der Grund dafür, dass die Fraunhofer-Gesellschaft die Initiative »Fraunhofer vs. Corona« gestartet hat, in die sich auch das Fraunhofer IAPT mit voller Leidenschaft eingebracht hat. Wo Lieferketten unterbrochen wurden oder die Nachfrage nach bestimmten Produkten nicht mehr bedient werden konnte, waren es die Flexibilität und die Schnelligkeit der additiven Fertigung, mit denen das Fraunhofer IAPT seinen Beitrag leisten konnte. Denn durch die Corona-Pandemie wurde

deutlich, dass uns die additive Fertigung resilienter in Krisen macht. Wir können flexibler auf neue Situationen reagieren und Engpässe – etwa bei Schutzausrüstung oder Komponenten für Beatmungsgeräte – schneller überwinden.

Die an uns als Fraunhofer IAPT gerichteten Anfragen und Herausforderungen, vor die uns Corona stellte, waren vielfältig und reichten von notwendiger und kurzfristiger Hilfe bis hin zu strategischen Projekten, um auch langfristig betrachtet



→ **Abbildung 2:** Schutzvisiere (»Face Shields«) mit 3D-gedruckten Halterungen

gestärkt und besser vorbereitet in die Zukunft zu blicken. Wir möchten Ihnen deshalb einen kleinen Überblick darüber geben, was wir mit unseren Projekten »Fraunhofer IAPT vs. Corona« schon erreicht haben und noch erreichen wollen.

Additive Fertigung von Face Shields

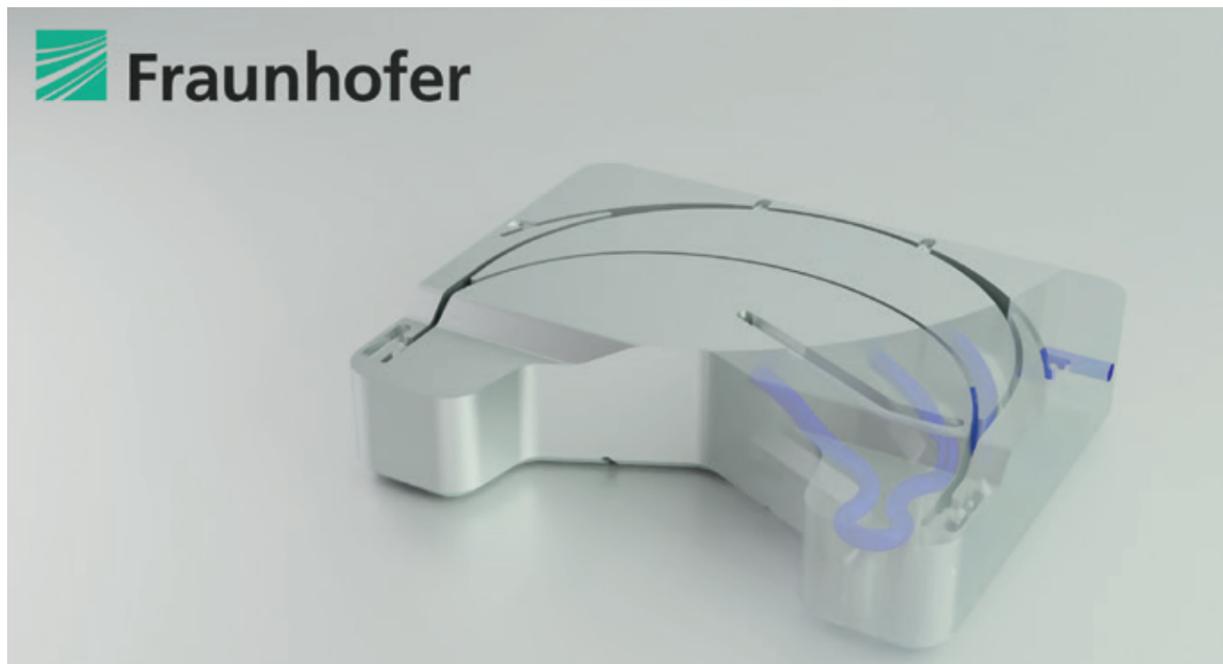
In der COVID-19-Pandemie gilt insbesondere die Tröpfchenübertragung als Hauptansteckungsweg. Sogenannte Face Shields helfen unmittelbar bei der Vermeidung dieser Tröpf-



→ **Abbildung 3:** 3D-gedruckte Teile für Soforthilfe-Aktionen von Hamburg über München nach Madrid

chenübertragung und können so weitere Ansteckungen verhindern und einen direkten Beitrag zur Verringerung von Neuinfektionen nach dem Motto »Flatten the Curve« leisten. Das Tragen von Face Shields über medizinische Masken hinaus ist für alle Personen, die im direkten Kontakt mit anderen Menschen stehen, essenziell, vom medizinischen Personal in Krankenhäusern und Pflegeheimen über niedergelassene Ärzte bis hin zu Mitarbeitenden in Apotheken, Supermärkten und Drogerien. Als kurzfristige Reaktion zur Deckung der Bedarfe an Face Shields wurden diese am Fraunhofer IAPT durch

Selektives Lasersintern (SLS) und Fused Deposition Modeling (FDM) hergestellt. So konnten wir erfolgreich die von der Initiative »Mobility goes Additive« initiierte Aktion »Johanniter needs 5000 Face Shields« unterstützen. Darüber hinaus liefern wir über eine von Airbus organisierte Hilfsaktion Face Shields an das spanische Militär, die dieses bedarfsorientiert an Krankenhäuser in Madrid verteilt hat. Auch die Lehrer einer Hamburger Grundschule wurden mit unseren Face Shields versorgt, um die Mimik im Unterricht nicht durch handelsübliche Nase-Mund-Bedeckungen zu verbergen.



→ **Abbildung 4:** Werkzeugeinsatz mit konturnaher Kühlung zur Herstellung von Face Shields

Zusätzlich haben wir für ein großes Hamburger Krankenhaus in Kooperation mit dem Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik der Technischen Universität Hamburg über 1000 Kopfhalterungen für Atemschutzmasken gedruckt und ausgeliefert.

3D-gedruckte Spritzgusswerkzeuge

Den Engpass bei der Herstellung der Face Shields stellen die Halterungen dar, die überwiegend mit 3D-Druckern gefertigt werden. Die Versorgung von Kliniken, Pflegeheimen und ärztlichem Personal mit Face Shields kann langfristig über eine

Spritzguss-Serienfertigung sichergestellt werden. Hierzu entwickelten wir über das Netzwerk »Vechta gegen Corona« und zusammen mit der atka Kunststoffverarbeitung GmbH einen funktionsfähigen Werkzeugeinsatz. Dieser wurde mit dem Laserstrahlschmelzverfahren aus AlSi10Mg hergestellt. Im Vergleich zu einem konventionell gefertigten Spritzgusswerkzeug kann durch eine hier realisierte konturnahe Auslegung der Kühlkanäle beim additiven Werkzeug die Zykluszeit um ca. 20 Prozent reduziert werden. Die reduzierte Zykluszeit erhöht im gleichen Maße die Produktivität der Spritzgussfertigung und ermöglicht eine Sicherung des langfristigen Bedarfs an Face Shields.

Easybreath-DualAdapter und Skalierung durch AM-Spritzgusswerkzeug

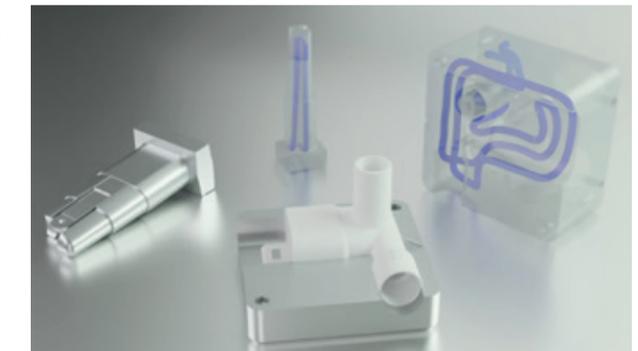
Mit unserem Technologiepartner CompriseTec GmbH und dem Bundeswehrkrankenhaus Hamburg haben wir Kompetenzen in den Bereichen Spritzguss, Anästhesie und additive Fertigung gebündelt, um eine Maske zu entwickeln, die sowohl als persönliche Schutzausrüstung als auch für Beatmungszwecke eingesetzt werden kann.

Dafür wird eine handelsübliche, günstig und in Massen verfügbare Schnorchelmaske durch einen neu entwickelten Adapter für diese Zwecke umfunktioniert. Somit können in Krisenregionen Bedarfsspitzen abgedeckt werden. Zur Hochzeit der ersten Corona-Welle haben wir 300 solcher Easybreath-DualAdapter mit SLS-Technologie gedruckt und an Krankenhäuser in Madrid gespendet.



→ **Abbildung 5:** Schnorchelmaske mit 3D-gedrucktem Adapter

Anschließend hat das Konsortium den Adapter so umkonstruiert, dass er durch Spritzguss herstellbar ist. Daraufhin wurde ein passendes Spritzgusswerkzeug von Grund auf neu entwickelt und in Werkzeugstahl gedruckt. Durch Topologie-



→ **Abbildung 6:** Spritzgusswerkzeug für Dualadapter mit konturnaher Kühlung

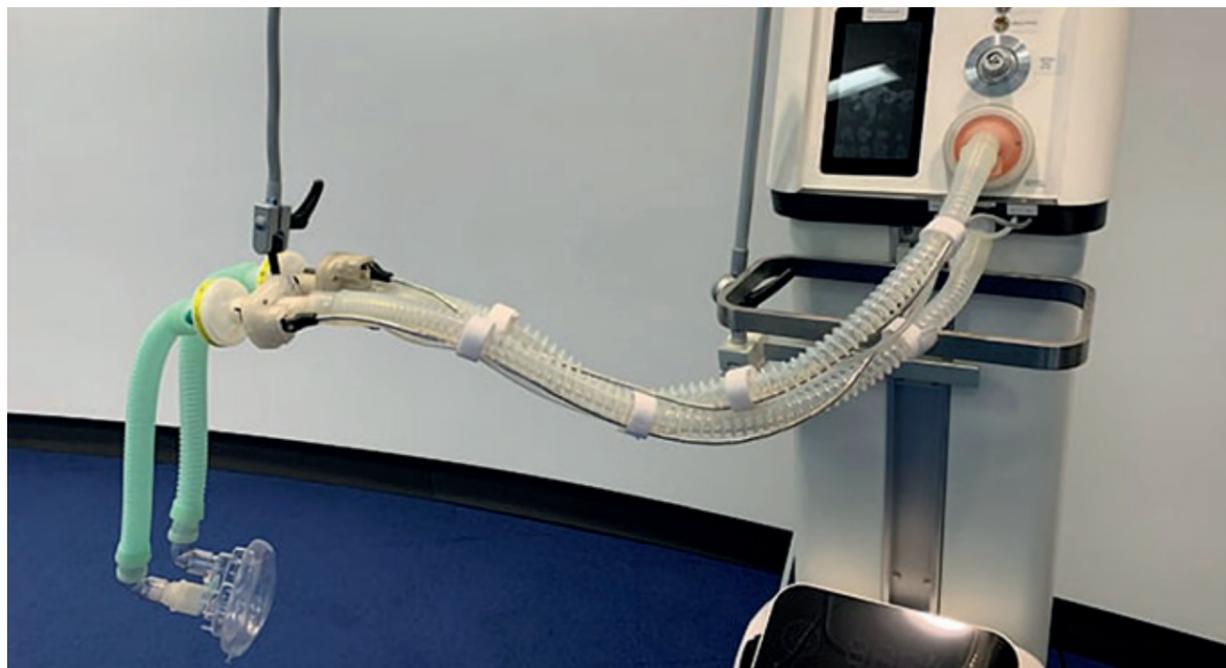
optimierung und konturnahe Kühlung konnten die Zykluszeiten und die AM-Fertigungskosten auf ein Minimum reduziert werden. Resultat ist ein gespritzter Easybreath-DualAdapter aus Polypropylen (PP) in medizinischer Qualität.

Give a Breath – Challenge-Gewinner für nicht invasive Beatmungsgeräte und O₂-Konzentratorgeräte

Zusammen mit dem Fraunhofer ITEM und der Firma AC Aircontrols GmbH konnten wir das geballte Wissen aus der Beatmungstechnik und dem 3D-Druck zusammenbringen und so gemeinsam den Smart CPAP (Continuous Positive Airway Pressure) entwickeln. Unsere gemeinsame Aufgabe



Videoclip Projekt „Give a breath“



→ **Abbildung 7:** Smart CPAP zur Unterstützung der Beatmung von COVID-19-Patienten (AC Aircontrols GmbH)

war es, ein Gerät zu entwickeln, das dezentral gefertigt und für einen schnellen und sicheren Einsatz jederzeit bereitgestellt werden kann. So hat das Smart-CPAP-Team ein nicht invasives Beatmungsgerät entwickelt, das kostengünstig hergestellt und unter verschiedensten Bedingungen eingesetzt werden kann. Das Gerät wurde so ausgelegt, dass sämtliche Komponenten als Standardbauteile gekauft oder auf einem 3D-Drucker auf Basis von im Internet verfügbar gemachten Daten vor Ort hergestellt werden können. Der Smart-CPAP



→ **Abbildung 8:** MobiMed-Konzept

kann mit Sauerstoff aus verschiedenen Quellen arbeiten und verfügt auch über Funktionen, die Sauerstoff sparen. Beim Betrieb des Geräts wurde insbesondere auf die Abstimmung der Sauerstoffzufuhr auf die Situation von COVID-19-Patienten geachtet. So unterstützt das Gerät Patienten sehr flexibel beim Einatmen und verzögert oder verhindert die Notwendigkeit einer Intubation, sodass Intensivbetten für schwerere Fälle frei gehalten werden können – ein wichtiger Aspekt in einer Krise, in der Sauerstoff ein wertvolles Gut ist.

MobiMed – Entwicklung einer mobilen Produktionslinie für medizinische Produkte in Krisenregionen

Die weltweite COVID-19-Pandemie hat gezeigt, dass krisenrelevante Wertschöpfungsketten gesichert werden können, indem medizinische Produkte kurzfristig additiv gefertigt werden. Die hierfür erforderliche Infrastruktur steht jedoch primär Hochtechnologieländern wie Deutschland zur Verfügung. Länder, in denen eine derartige Infrastruktur nicht vorhanden ist, sind auf Lieferketten angewiesen, die Engpässe im Krisenfall teils nicht schnell genug beheben können. Dies gilt insbesondere für Entwicklungsländer, in denen Epizentren neuer Pandemien zu erwarten sind. Im Fraunhofer-Forschungsprojekt »MobiMed« entwickelt das Fraunhofer IAPT eine mobile Fertigungszelle im 20-Fuß-Containerformat, die der flexiblen Produktion von medizinischem Zubehör in Krisengebieten dienen wird. Die Konzeption des Fertigungsmoduls erfolgte unter Berücksichtigung einer minimalen Anwenderinteraktion vor Ort, um zeitintensive anlagen- und verfahrensspezifische Schulungen zu verhindern. Diejenigen Aktionen, die durchzuführen sind (z. B. die Bauteilentnahme aus den

3D-Druckern), werden mittels AR (Augmented Reality) unterstützt, sodass die Anwender über keinerlei Wissen hinsichtlich additiver Fertigungsverfahren oder Nachbearbeitungsschritten verfügen müssen.

Für die Containerlösung werden die beiden additiven Fertigungsverfahren Filamentdruck (engl. Fused Filament Fabrication [FFF]) und Stereolithographie (SLA) vorgesehen, deren Einsatz zur Herstellung von medizinischen Komponenten im Zusammenhang mit COVID-19 bereits hinreichend validiert werden konnte. Die gedruckten FFF- bzw. SLA-Teile werden nach der Fertigung innerhalb des Containers sterilisiert und verpackt.

Um in der Containerumgebung eine normengerechte additive Fertigung von Medizinprodukten zu ermöglichen, wird eine Plattform zur Verwaltung der Produktionsaufträge aufgebaut. Hier werden alle produktrelevanten Informationen hinterlegt und es wird ein produktbegleitendes Zertifikat erstellt.

Die in diesem Beitrag dargestellten Projekte wurden gefördert im Rahmen der internen Programme der Fraunhofer-Gesellschaft, Fördernummern Anti-Corona 179-640001, 179-640003, 179-642000.

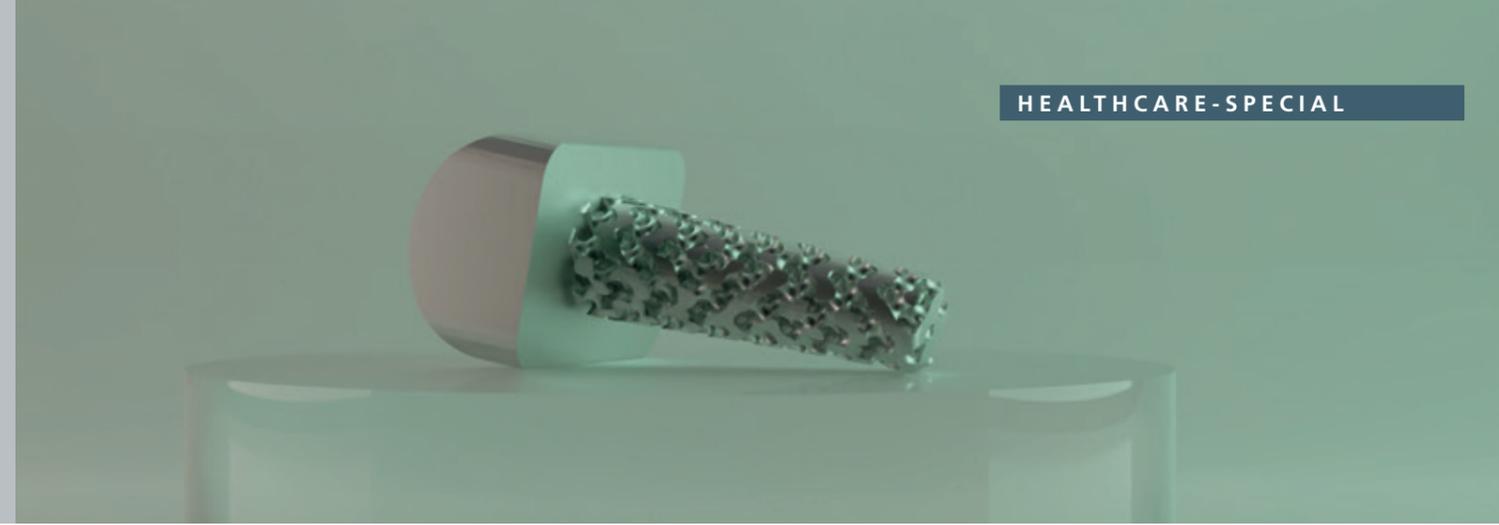
KONTAKT

Dr. Philipp Imgrund

+49 40 484010-740

philipp.imgrund@iapt.fraunhofer.de





PERSONALISIERTE FINGERGELENKIMPLANTATE DURCH AM

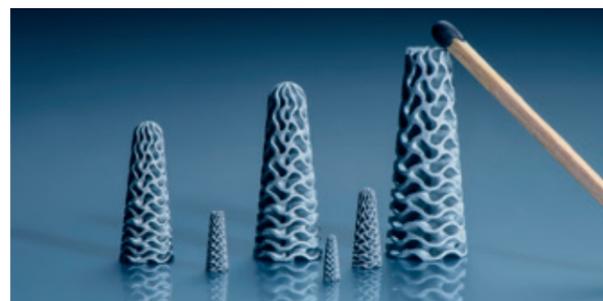
Im Projekt FingerKit arbeiten das Fraunhofer IAPT, IKTS, ITEM, IWM und MEVIS zusammen, um erstmals eine durchgängige automatisierbare Prozesskette in der Herstellung patienten-individueller Implantate vom Design über die Fertigung bis hin zur zertifizierungskonformen Prüfung zu ermöglichen. Die Arbeiten konzentrieren sich im Rahmen des Projekts auf den wachsenden Markt der Fingergelenkimplantate. An die vergleichsweise kleinen Implantate werden hohe Anforderungen bezüglich der individuellen Passung und der biomechanischen Belastung gestellt, weshalb bisherige Formen der Therapie, sei es im Falle einer rheumatischen Arthritis oder eines Traumas, sehr häufig auf eine Versteifung der Gelenke hinauslaufen. Für diese Indikationen eine neue Therapieform zu ermöglichen und eine Remobilisierung von Fingergelenken durch individuell angepasste Gelenkimplantate zu erreichen, ist das zentrale technische Ziel des Konsortiums. Der Entwicklungsweg im Projekt FingerKit ist in Abbildung 1 dargestellt.



→ **Abbildung 1:** Entwicklungsweg im Projekt FingerKit

Im Bereich Design untersucht das Fraunhofer IAPT gegenwärtig den Einsatz von Mesostrukturen, um ein Einwachsen des Knochens in das Implantat zu verbessern. In diesem Zusammenhang wurde eine Methodik zur Auswahl geeigneter Mesostrukturen basierend auf einer Datenbank entwickelt. Hierbei wird zunächst die zu erzielende Verbesserung definiert

(z. B. Osseointegration, Haltbarkeit). Daraus werden die entsprechenden Anforderungen und Ziele abgeleitet (z. B. hohe spezifische Oberfläche, hohe Durchlässigkeit, niedrige Steifigkeit, hohe Festigkeit). Die Datenbanksoftware gibt anschließend automatisiert die für den individuellen Anwendungsfall geeignete Mesostruktur aus. Ein erstes Implantatdesign mit integrierter Mesostruktur ist in Abbildung 2 zu sehen. Hierbei ist aktuell der Schaft, der im Knochen verankert wird, strukturiert; denkbar wäre auch eine Strukturierung der planen Basisfläche des Implantats, die ebenfalls mit Knochen in Berührung kommt.



→ **Abbildung 2:** Mit Metall-Binder-Jetting gefertigte Varianten des FingerKit-Implantatschaftdesigns

In einem nächsten Schritt erfolgt der Einsatz von KI-Algorithmen zur Autogenerierung von individualisierten Implantatdesigns. Mithilfe von tiefen neuronalen Netzen werden aus Röntgenaufnahmen des Patienten automatisiert dem individuellen Krankheitsbild entsprechende Implantatdesigns erzeugt, um eine schnelle und individuelle Versorgung zu ermöglichen. Im Bereich Prozesse beschäftigt sich das Fraunhofer IAPT mit der Material- und Prozessentwicklung für die additive Fertigung der KI-erzeugten patientenspezifischen Implantate. Insbesondere steht dabei die Umsetzung der geforderten Ober-



→ **Abbildung 3:** Digitale Röntgenaufnahmen beider Hände zeigen eine schwere rheumatoide Arthritis

flächeneigenschaften (Mesostruktur, Rauheit, Porosität) sowie der mechanischen Anforderungen (Tribologie, Langzeitstabilität) in additiv gefertigten Komponenten im Fokus der Forschungsarbeiten. Die neuen Werkstoffe sichern in Kombination mit dem automatisierten Design die optimale Funktionalität der Implantate hinsichtlich biologischer/biomechanischer Anpassung an das Gewebe und tragen so dazu bei, die Remobilisierung der Gelenke sicherzustellen.

Für die Evaluierung von Implantatdesigns werden drei verschiedene Titan- und Titanlegierungspulver genutzt, um die Umsetzbarkeit der generierten Daten in gedruckte Bauteile zu erproben und um die Eignung der Verfahren zur Fertigung von Kleinimplantaten in großer Stückzahl zu bewerten. Zur Überprüfung der ersten Designvarianten in Titan nutzt das Fraunhofer IAPT das kostengünstige Herstellverfahren Metal Fused Filament Fabrication (Metal FFF). In diesem Verfahren wird der Werkstoff in Pulverform mit einem polymerbasierten Binder gemischt und zu einem Filament aufbereitet, das an-

schließend über einen klassischen Filamentdrucker verdruckt, entbindert und gesintert werden kann. Die Prozessroute hierzu wird am Fraunhofer IAPT erarbeitet. Abhängig von den Prozessparametern werden die Materialien in Zusammenarbeit mit unseren Partnern hinsichtlich Biokompatibilität, Osseointegration und mechanischer Eigenschaften bewertet, um sicherzustellen, dass die grundlegenden Anforderungen an die Implantateigenschaften erfüllt werden. Um eine spätere Übertragung des Prozesses in eine Implantatfertigung zu ermöglichen, muss das Druckverfahren eine hohe Bauteilpräzision, Prozesssicherheit und die Möglichkeit zur kostengünstigen Produktion von Implantaten in großer Stückzahl bieten. Ein geeignetes Verfahren ist das Metall-Binder-Jetting. Dieses Verfahren nutzt analog zum Laserstrahlschmelzen ein Pulverbett, wobei zur Erzeugung des Bauteils an die Stelle des Aufschmelzens durch einen Laserstrahl das Eindringen einer organischen Tinte über einen Druckkopf tritt. Anschließend werden die gedruckten Grünlinge entbindert und zum endgültigen metallischen Bauteil gesintert. Das Fraunhofer IAPT entwickelt im Rahmen des Projekts geeignete Prozessparameter zur Herstellung der Implantate aus der ausgewählten Titanlegierung. In ersten Untersuchungen an Edelstahl konnte das hohe Potenzial der Technologie zur Erzeugung hochpräziser Kleinimplantate bereits gezeigt werden.

Gefördert durch die Fraunhofer-Gesellschaft in dem internen Programm »PREPARE«, FKZ: 640000.

KONTAKT

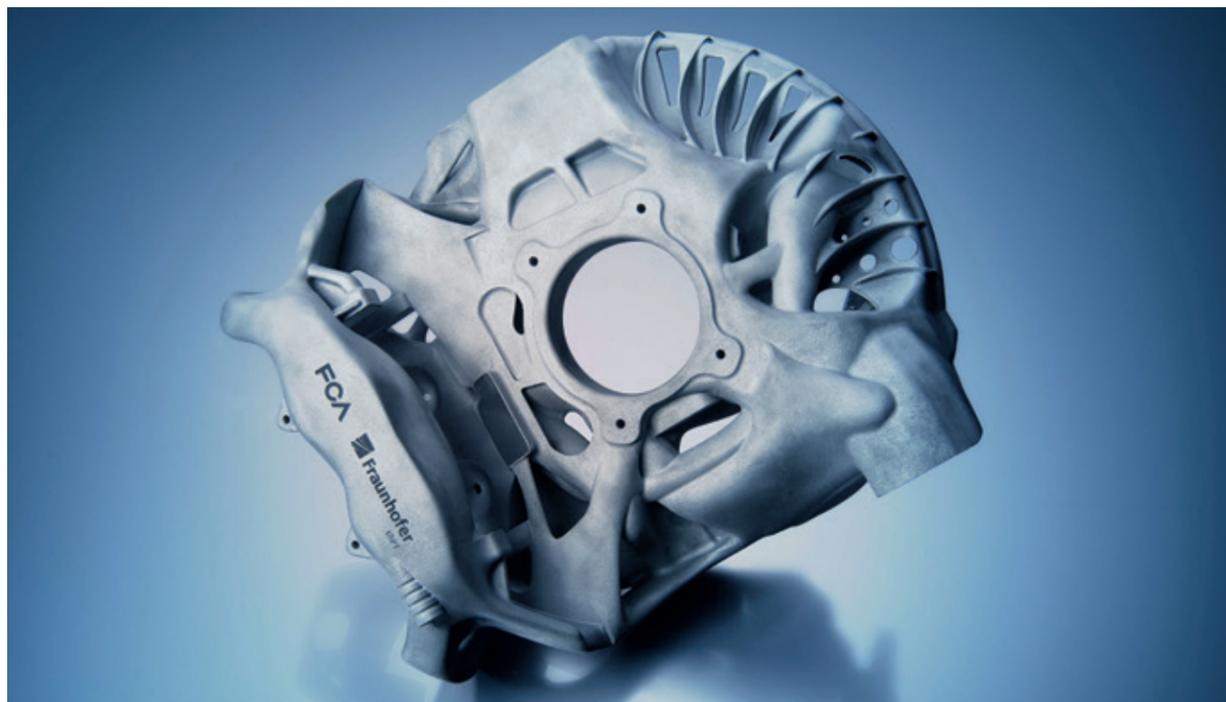
Dr. Philipp Imgrund

+49 40 484010-740

philipp.imgrund@iapt.fraunhofer.de



UND PLÖTZLICH BREMST DIE GEDRUCKTE RADAUFHÄNGUNG ...



Eine Innovation über die Grenzen von Hamburg bis Turin lässt Automobilisten aufhorchen: Fiat Chrysler Automobiles (FCA) und die Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT entwickelten gemeinsam ein 3D-gedrucktes Radaufhängungssystem mit integriertem Bremssattel für einen FCA-Sportwagen.

Das Bauteil steht symbolisch für den Einstieg in den serienmäßigen 3D-Druck von Fahrzeugkomponenten von FCA. Zu den ehrgeizigen Zielen meint Carlo Carcioffi, Leiter des Bereichs Advanced Processes and Materials Body, Interiors, Chassis: »Gemeinsam mit unserem Innovationspartner Fraunhofer IAPT

senken wir die Kosten und den Produktionsaufwand für wichtige Fahrzeugkomponenten. Der Wissenstransfer wird uns helfen, unsere Kompetenz für Additive Manufacturing in den Bereichen integriertes Design, Werkstoffe und Prozesstechnologie konzernweit zu verbessern.«

All inclusive: Radaufhängung mit integriertem Bremssattel

Die additive Forschungszusammenarbeit begann mit einer mutigen Frage: Wie lässt sich ein komplettes Aufhängungssystem für einen Sportwagen per 3D-Druck realisieren? Derzeit besteht

dieses noch aus zahlreichen Einzelkomponenten wie bspw. Radaufhängung, Bremssattel sowie Hydraulik und Hitzeschild. Bisher werden diese Bauelemente einzeln gefertigt und anschließend in mehreren Schritten mithilfe von Schrauben, Dichtungen und Unterlegscheiben zu einem kompletten, funktionsfähigen System montiert. Alles in allem ein komplexer, zeitaufwendiger und teurer Prozess.

»Wir mussten zusammen mit dem FCA-Konstruktionsteam die gesamte Radaufhängung völlig neu denken, um eine einteilige bionische Struktur zu erschaffen, die alle Funktionen der bisherigen Baugruppe mindestens gleich gut erfüllt, alle Kräfte aufnimmt, gewichtsoptimiert ist und additiv hergestellt werden kann«, blickt Design-Projektingenieur Yanik Senkel zurück.

Ökoeffizienz durch Leichtbau und Integralbauweise

Das Ergebnis ist beeindruckend: Durch Topologieoptimierung hat das Team einen Prototyp entwickelt, der 36 Prozent weniger wiegt als die zwölf Einzelteile des bisher konventionell gefertigten Bauteils. Das bionisch optimierte Design reduziert den Montageaufwand enorm, erhöht dank der robusteren Konstruktion die Dauerfestigkeit und soll auch in Bezug auf Geräusch, Vibration und Rauigkeit (NVH) besser abschneiden. Die intelligente Integralbauweise eliminiert viele typische Schwachstellen und verlängert damit die Lebensdauer. »Das Bauteil demonstriert das Potenzial der additiven Fertigung für zukünftige Autos«, sagt Carcioffi stolz. »Und obendrein ist es ein echter Hingucker«, fügt er hinzu.

Doch die 3D-gedruckte Radaufhängung mit integriertem Bremssattel, die weltweit erste ihrer Art, ist erst der Anfang: Sie ist der Ausgangspunkt für viele andere Projekte. In zahl-

reichen gemeinsamen Workshops, die auch die Bereiche Material- und Prozessentwicklung sowie Qualitätssicherung umfassten, wurden mehrere Komponenten in Leicht- und Integralbauweise komplett neu entwickelt.

»Der Gesamtfokus liegt auf der Senkung der Herstellungskosten, etwa durch eine deutliche Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit«, erklärt Ruben Meuth, Leiter Business Development Automotive am Fraunhofer IAPT. »Dieses Bauteil ist ein herausragendes Beispiel für die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschung. Es zeigt, wie Additive Manufacturing in der Serienfertigung von Luxus- und Sportwagen eingeführt werden kann«, resümiert Meuth.

Doch welche Fahrzeugteile identifiziert das Kooperations-team als die nächsten Kandidaten für den 3D-Druck? Die Ergebnisse dürften spannend sein, ist Carcioffi überzeugt. In einem Punkt ist sich der FCA-Experte schon jetzt sicher: »Das Projekt hat gezeigt, dass wir durch Additive Manufacturing viele Bereiche des Automobils völlig neu denken und damit den Grundstein für zukünftige Innovationen legen können.«

KONTAKT

Ruben Meuth

+49 40 484010-772

ruben.meuth@iapt.fraunhofer.de



LEICHTER, SCHNELLER UND TROTZDEM KOSTENGÜNSTIGER!

Weiter auf Erfolgskurs mit additiver Fertigung im Automobilbereich

Das Fraunhofer IAPT zeigt, wie schon heute profitable Anwendungen durch additive Fertigung bei Sportwagen umsetzbar sind, indem die AM-Fertigungskosten durch einen konsequenten und systematischen Entwicklungsansatz reproduzierbar um 80 Prozent gesenkt werden.

Herausgekommen ist eine bezüglich Leichtbau, profitabler Anwendungen, Kosten und Optik optimierte Türaufhängung für diesen Sportwagen. Konkret konnten in einer ersten Entwicklungsstufe 35 Prozent Gewicht und 50 Prozent der Kosten im Vergleich zum zuvor gefrästen Bauteil eingespart werden. Darüber hinaus ist die neue Türaufhängung durch das bionische Design ein echter Hingucker und fällt dem Fahrer direkt ins Auge. Die Türaufhängung besteht aus drei Einzelteilen, die anschließend montiert werden.

Die Herausforderung besteht darin, zukünftig den Gelenkarm, das Mittelstück des Systems, nicht nur als Kleinserie additiv zu fertigen, sondern die optischen und technischen Eigenschaften zu verbessern und gleichzeitig die Kosten zu senken.

Um das Kosteneinsparungspotenzial hier umfassend auszuschöpfen, ist eine 3D-Druck-zentrierte Herangehensweise von Anfang an unumgänglich. Es geht darum, das Denken in gefrästen Bahnen hinter sich zu lassen und die Designfreiheit der additiven Fertigung zu nutzen. Gleichzeitig ist jeder Prozessschritt auf sein Einsparungs- und Optimierungspotenzial hin zu überprüfen. Nur so kann aus der Kombination verschiedener Einsparungspotenziale ein profitabler Gesamteffekt erreicht



→ **Abbildung 1:** Einbauort des Bauteils

werden. Um die Systematik der Kostensenkung während der additiven Fertigung zu verdeutlichen, werden anhand des beschriebenen Gelenkarms exemplarisch die einzelnen Schritte im Prozess betrachtet:

Durchdachtes AM-Design schafft 45 Prozent Kostenersparnis

Intelligente Orientierungsoptimierung erhöht die Auslastung

Schon im frühen Stadium des Designs ist es wichtig, die kostenoptimale Bauteilorientierung im 3D-Druckprozess zu identifizieren, um z. B. die Anzahl benötigter Stützstrukturen zu minimieren und gleichzeitig die Anzahl der auf eine Bauplattform

passenden Bauteile zu maximieren. Dafür nutzt das Fraunhofer IAPT ein eigens entwickeltes Softwaretool zur Orientierungsoptimierung. Die so identifizierte Bauteilorientierung muss bei allen weiteren Schritten der Fertigung berücksichtigt werden und führt zu einer Kosteneinsparung von 15 Prozent.

Konsequente Topologieoptimierung reduziert das Gewicht drastisch

Mit additiver Fertigung und bionisch inspiriertem Design sind Strukturen möglich, die anderen Fertigungsverfahren verwehrt bleiben. Die Topologieoptimierung sorgt für eine günstige Grundgestalt des Bauteils, die nur dort Material platziert, wo der simulierte Kraftfluss es benötigt. Mit bionischen, von der Natur inspirierten Strukturen wie hohlen Vogelknochen kann ein Hohlraum im Gelenkarm realisiert werden. In Summe reduziert sich somit das Gewicht im Falle des Türgelenks um 35 Prozent. Weniger Materialbedarf und eine kürzere Druckzeit senken die Kosten um weitere 20 Prozent.

Minimierte und leicht entfernbare Stützstrukturen erleichtern das Postprocessing

Jede Stützstruktur, die nicht entfernt werden muss, spart Zeit und damit erhebliche Kosten, die durch die stark manuell geprägte Nachbearbeitung entstehen. Eine Reduzierung der Stützstrukturen im Design wirkt sich zugleich positiv auf Fertigungszeit und Materialbedarf aus und senkt damit die Kosten abermals um 10 Prozent.

Konsequente Optimierung im Druckprozess schafft weitere 35 Prozent Kostenersparnis

Große Materialauswahl schafft Kosteneinsparungspotenzial

Die additive Fertigung verfügt über eine wachsende Bandbreite von Materialien, die für den Druck zur Verfügung stehen. Die Wahl des Materials wirkt sich stark auf die Fertigungszeit und die Metallpulverkosten aus. Deshalb wählt das Fraunhofer IAPT für den jeweiligen Einzelfall das anforderungsgerechte und kosteneffizienteste Material aus, wodurch eine erneute Kosteneinsparung von 10 Prozent erzielt wird.

Speed-AM: Erhöhte Produktionsgeschwindigkeit senkt Herstellungskosten

Die Anpassung der AM-Prozessparameter eröffnet weitere Möglichkeiten, die Kosten zu reduzieren. So senkt die höhere Schichtstärke beim Druck, die Optimierung der Prozessparameter oder die Verformung des Laserstrahlprofils die Bauzeit deutlich. Dies führt zwar zu leichten Einbußen der Bauteilqualität, die jedoch weiterhin über der von Gussbauteilen liegt, ermöglicht aber die Senkung der Druckkosten um weitere 15 Prozent.

Geschicktes Nesting maximiert den Füllgrad im Bauraum

Bei der Anordnung der Bauteile im Bauraum sind gleich zwei Dinge entscheidend. Einerseits gilt es die Anzahl der Bauteile auf einer Ebene zu maximieren und andererseits muss geprüft werden, wie sinnvoll es ist, mehrere Ebenen übereinander zu drucken. Die Optimierung der Packdichte durch Verschachtelung

HOCHDUKTILE UND CRASHRESISTENTE ALUMINIUMLEGIERUNG FÜR DIE AUTOMOBILINDUSTRIE

Multifunktionaler Einsatz neuer Legierungen

Um den vielfältigen Anforderungen für automotiv Anwendungen gerecht zu werden, wird auf eine Vielzahl an Legierungen und Metallen zurückgegriffen. Im Forschungsprojekt »Maßgeschneiderte LAM-Aluminiumwerkstoffe für hochfunktionale, variantenreiche Strukturbauteile – CustoMat 3D« (Förderkennzeichen 03XP0101H) konnte nun eine Legierung entwickelt und getestet werden, die sowohl hohe Steifigkeiten als auch hohe Duktilität und große Biegewinkel bietet. Die Legierungsentwicklung war Kernpunkt des Projekts, in dem durch das Konsortium die gesamte Prozesskette abgedeckt wurde. In Bezug auf die Legierungsentwicklung wurden die Zusammensetzung und das Ermitteln der Eigenschaften maßgeblich vom Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien IWT übernommen, während Ecka Granules die Pulververdüsung durchführte und das Fraunhofer IAPT die Parameterentwicklung der additiven Prozesse übernahm. Mit der Unterstützung von Altair wurde die Entwicklung der Bauteile im konstruktiven Bereich v. a. durch die Arbeit von EDAG und Mercedes-Benz geprägt. Deren Inhalte wurden wiederum an ConceptLaser und FKM weitergeleitet, die sich mit Fragestellungen rund um die Fertigung der Bauteile beschäftigten. Ergänzend arbeiteten das Fraunhofer ITWM und Magma an Simulationen, die

Vorhersagen im Fertigungsprozess ermöglichen. Die finalen Demonstratorbauteile waren ein Radträger des AMG 190 und ein Dämpferbeindom der E-Klasse aus dem Hause Daimler.

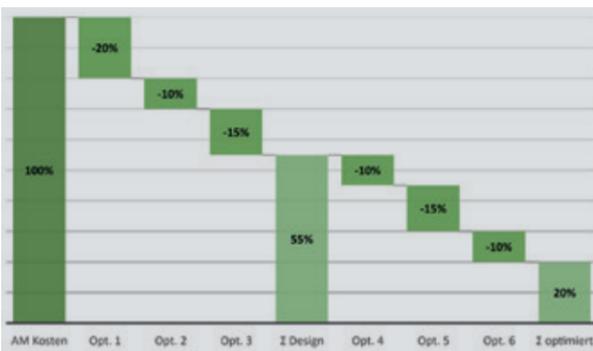
Legierungen für die additive Fertigung

Die gesuchte Legierung muss für den geplanten Einsatz sowohl mechanischen Ansprüchen gerecht werden als auch eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit vorweisen. Als Anhaltspunkt dienen hier die in der Automobilbranche bereits genutzten 6000er-Aluminiumlegierungen mit Silizium und Magnesium als primäre Legierungselemente. In mehreren Iterationen wurden Legierungselemente angepasst, um einerseits die mechanischen Eigenschaften zu optimieren und andererseits eine gute Verarbeitung für additive Prozesse zu gewährleisten. Insbesondere die Neigung zur Heißris- und Porositätsbildung wurde durch präzise Anpassungen minimiert.

Neben dem zuverlässigen Einsatz unter verschiedensten mechanischen Belastungen ist auch der Produktionspreis ein ausschlaggebender Faktor bei der Entwicklung neuer Legierungen. Um einen konkurrenzfähigen Pulverpreis zu erzielen, wurde bei der Entwicklung auf den Einsatz teurer oder seltener Legierungselemente, wie z. B. Scandium, verzichtet.

Flexibilität durch Wärmebehandlung

Da die Entwicklung einer Legierung, die sowohl eine höhere Festigkeit als auch eine höhere Duktilität als vergleichbare Legierungen besitzt, in der Regel eine große werkstofftechnische Herausforderung darstellt, wird mit der hier entwickelten



→ **Abbildung 2:** Überblick über die Kostensenkungstreiber des systematischen Ansatzes

AM-Kosten = AM-Fertigungskosten ohne jegliche Optimierung, Opt. 1 = Kostenersparnis durch Orientierungsoptimierung, Opt. 2 = Kostenersparnis durch Topologieoptimierung und bionisches Design, Opt. 3 = Kostenersparnis durch Minimierung von Stützstrukturen und Postprocessing, Σ Design = Kosten nach Designoptimierungen, Opt. 4 = Kostenersparnis durch intelligente Materialwahl, Opt. 5 = Kostenersparnis durch Anwendung von Speed-AM-Parametern, Opt. 6 = Kostenersparnis durch intelligentes Nesting und Füllgradmaximierung, Σ optimiert = minimierte AM-Fertigungskosten nach Design- und Prozessoptimierung

und ggf. Stapelung, das sogenannte »Nesting«, führt zu einer weiteren Kosteneinsparung von 10 Prozent. Additiv gedachtes Design und das konsequente Verfolgen von »Design to Cost« in allen Phasen der Konstruktion und Fertigung ermöglicht eine Kosteneinsparung beim Gelenkarm von 80 Prozent. Das beachtliche Ergebnis ergibt sich zum einen aus der Kostensenkung im AM-Design, durch Orientierungs- sowie Topologieoptimierung und Supportminimierung mit 45 Prozent, zum anderen durch eine optimierte Materialauswahl, Speedparameter und Füllgradmaximierung mit 35 Prozent im AM-Prozess. Gleichzeitig konnte die Bauteilperformance durch geringeres Gewicht, bessere Optik und höhere Langlebigkeit

gesteigert werden. Der wichtigste Punkt jedoch ist, dass die Fertigungskosten des Gelenkarms für einen in Kleinserie hergestellten Rennwagen mittels 3D-Druck im Vergleich zum zuvor verwendeten Fräsen um 50 Prozent reduziert werden



→ **Abbildung 3:** Optimierter Bauraum

konnten. Die dargestellte Systematik zur AM-Kostensenkung lässt sich auf eine Vielzahl von Automobilkomponenten anwenden und demonstriert, wie die additive Fertigung schon heute in größeren Serien bis 5000 Stück profitabel eingesetzt werden kann.

KONTAKT

Ruben Meuth

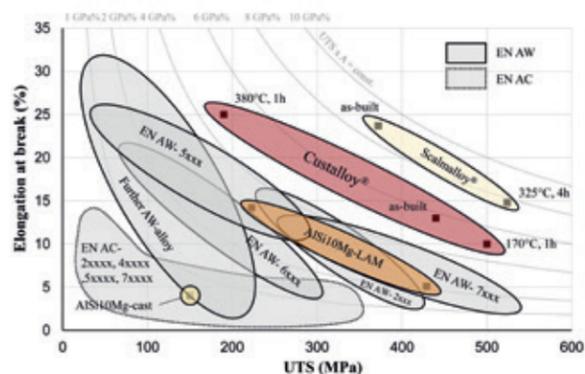
+49 40 484010-772

ruben.meuth@iapt.fraunhofer.de



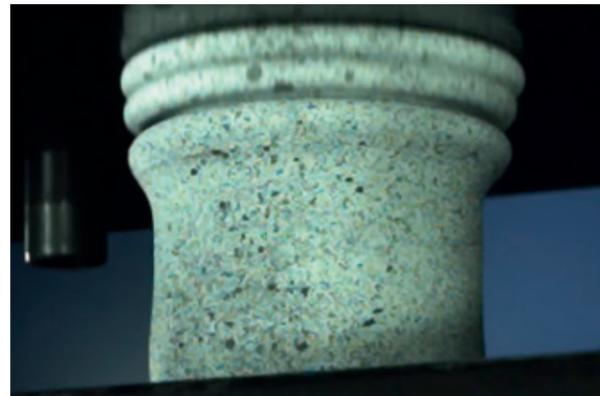
Custalloy-Legierung auf eine möglichst flexible Einstellung der Eigenschaften gesetzt.

Durch die passende Wärmebehandlung können die Eigenschaften dieser Legierungen in einem großen Spektrum variiert werden. In welchem Ausmaß die Legierung eingestellt werden kann, wird in Abbildung 1 visualisiert. Untersucht wurden



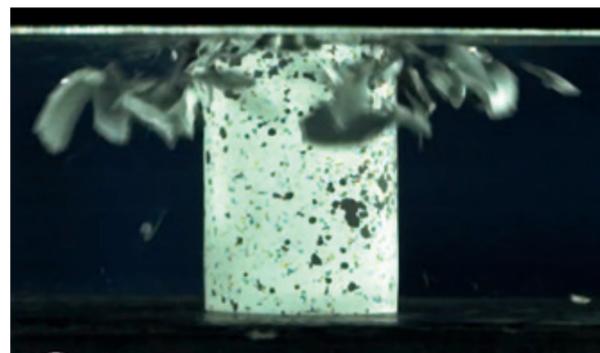
→ **Abbildung 1:** Mechanische Eigenschaften der Custalloy-Legierung im Vergleich mit anderen Aluminiumlegierungen (IWT)

vor allem zwei Varianten, steifigkeitsoptimiert und verformungsoptimiert. Die mechanischen Tests nach einer steifigkeitsoptimierten Wärmebehandlung weisen eine Zugfestigkeit auf, die ca. 25 Prozent höher ist als die von AISi10Mg-Legierungen. Auch am Bauteil konnte diese Legierungsvariante überzeugen, da alle Radträger aus diesem Material die durchgeführten Versuche bestanden haben. Getestet wurden hier überlagerte mechanische Belastungen, die mehrere Fahrten auf einer Rennstrecke simulieren. Für verformungsbelastete Bauteile, die u. a. in Crash-Situationen relevant sind, wurde die zweite Wärmebehandlung durchgeführt. In diesem Fall zeigt der Werk-



→ **Abbildung 2:** Vorteile der Wärmebehandlung im Crash-Versuch (Mercedes-Benz)

stoff zwar eine deutlich reduzierte Zugfestigkeit, dafür kann er um bis zu 25 Prozent gedehnt werden, bevor es zum Bruch kommt. Noch ausschlaggebender bei dieser Wärmebehand-



→ **Abbildung 3:** As-built-AISI10Mg-Probe im Fallturm (Mercedes-Benz)

lung ist der erhöhte Biegewinkel, der etwa fünf Mal so hoch ist wie bei nicht wärmebehandelten Proben. Die Vorteile dieser Wärmebehandlung werden im Crash-Versuch in Abbildung 2

besonders deutlich. Dort ist erkennbar, dass die Probe Falten wirft und die Energie optimal absorbiert.

Als direkter Vergleich ist in Abbildung 3 eine AISi10Mg-Probe dargestellt, die nicht wärmebehandelt wurde. Diese weist ein sprödes Bruchverhalten auf, das ungeeignet für crashrelevante Bauteile ist.

Vielseitige Fertigungskonzepte

Um den Custalloy-Legierungen nicht nur in Bezug auf ihre Eigenschaften, sondern auch unter Berücksichtigung der Fertigungsanforderungen ein möglichst breites Anwendungsgebiet zu ermöglichen, wurden verschiedene Prozesse untersucht. Während die initiale Entwicklungsphase der Legierung im pulverbettbasierten Laserstrahlschmelzprozess durchgeführt wurde, gab es im Anschluss weitere Versuchsreihen, die das Pulverauftragsschweißen ermöglichen. Darüber hinaus wurden Ansätze zur hybriden Fertigung untersucht, bei denen Gussproben im Pulverbett eingespannt und um additiv gefertigte Zusätze ergänzt wurden. Neben den additiven Fertigungsan-



→ **Abbildung 4:** Dämpferbeindom aus Custalloy (EDAG)

sätzen wurde abschließend das nachträgliche Fügen durch Laserstrahlschweißen, Halbhohlstanzen und Kleben untersucht. Die Schweißverbindungen haben auch bei der Fertigung des Dämpferbeindoms in Abbildung 4 Anwendung gefunden.

Vielversprechende Entwicklungsansätze

Der Bedarf an maßgeschneiderten Aluminiumlegierungen in der additiven Fertigung wird mit der hier vorgestellten Custalloy-Legierung besonders durch deren ungewöhnlich flexibles Einsatzgebiet gedeckt. Somit wurde hier keine Legierung für eine Nische, sondern für eine Vielzahl von Anwendungen bereitgestellt. Dass die Verarbeitung dieses Werkstoffs mit verschiedenen Fertigungsverfahren nachgewiesen werden konnte, unterstreicht den universellen Einsatz noch weiter.

Als abschließende Prüfung überzeugte die Legierung auch im Test der Bauteile. Daraufhin haben das Fraunhofer IAPT und die Projektpartner des CustoMat-3D-Projekts sich entschlossen, eine Patentierung dieser neuartigen Legierung in Gang zu setzen. Mit Unterstützung unserer Projektpartner und des BMBF konnte das Fraunhofer IAPT die additive Fertigung einer innovativen Aluminiumlegierung ermöglichen, die bekannte Herausforderungen mit neuen Ansätzen meistert und das Potenzial hat, weitere Anwendungsgebiete sinnvoll zu ergänzen.

KONTAKT

Maximilian Kluge
 +49 40 484010-728
 maximilian.kluge@iapt.fraunhofer.de



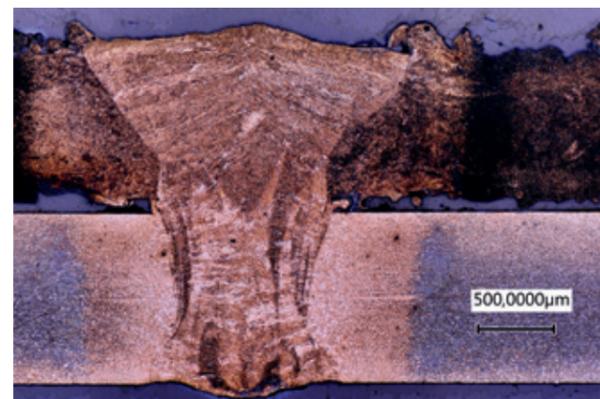
MATERIALKOSTENREDUZIERUNG VON 50 PROZENT BEI AM

In der laseradditiven Pulverbettfertigung (LAM) kommen Pulverlegierungen unterschiedlicher Zusammensetzung zum Einsatz, die die Grundlage jedes schichtweise generierten Bauteils bilden. Damit einhergehend bildet das Pulver die Basis für die mechanischen Eigenschaften und hat ebenfalls Einfluss auf die Bauteilkosten. Die chemische Zusammensetzung bestehender Stahlpulver beinhaltet dabei einen großen Teil hochpreisiger Elemente wie Chrom, Nickel oder Molybdän. Für viele Anwendungen, bspw. in der Automobilindustrie, bringen diese teuer erkauften Elemente aber keinen nennenswerten Mehrwert hinsichtlich Qualität, Kosten oder Zeit bei den generierten Produkten. Mangels Alternativen werden diese Legierungen dennoch eingesetzt und erhöhen damit entscheidend die Materialkosten, was die Einführung der additiven Fertigung in der Serienproduktion einschränkt.

Im Rahmen des vom BMBF finanzierten Forschungsprojekts StaVari wurde daher im Projektkonsortium eine neuartige Stahlpulverlegierung entwickelt, die auf die Bedürfnisse der Automobilindustrie zugeschnitten wurde. Der neue Pulverwerkstoff beruht auf einem kostengünstigen Mittelmangankonzept und senkt die Materialkosten um ca. 50 Prozent auf ~27 €/kg. Der Mangengehalt wurde dabei gezielt so eingestellt, dass unter Verformung eine hohe Energieaufnahme möglich ist (TRIP-Effekt [engl.: Transformation Induced Plasticity, dt.: Martensitbildung bei Umformung]) und damit Crash-Anforderungen im Automobilbau erfüllt werden. Zur Validierung dieser neuen Pulverlegierung für Strukturbauteile eines Automobils widmete man sich im Projekt den verschiedenen Prozessschritten zu Pulververdüsung, LAM-Prozess, Wärmebehandlung und Fügeigenschaft. Als Referenz für Festigkeit und Dehnung der neuen Legierung wurde ein Dualphasenstahl DP800 gewählt, der konventionell im Karosserierohbau verwendet wird. Zur Reali-

sierung von Großstrukturbauteilen wurde vom Fraunhofer IAPT ein entsprechender Laserschweißprozess für die hybride Kombination von additiven und gewalzten Materialien entwickelt. Ein Fügen ist aufgrund der beschränkten Bauteilgröße beim LAM in der Regel notwendig, sodass Untersuchungen zum Schweißverhalten des Fraunhofer IAPT von hoher Bedeutung waren. Die neue Pulverlegierung in gedruckter Form zeigt dabei ein vergleichbares Werkstoff- und Schweißverhalten. Härte, Festigkeit und Nahtausprägung der verschweißten Fügeproben in den verschiedenen Werkstoffpaarungen (miteinander oder mit Referenzblech) liegen mit dem Referenzstahl auf gleicher Höhe. Als Schlüssel zu soliden Laserschweißergebnissen konnte das Oberflächenprofil der Proben identifiziert werden, über die sich verschiedene positive Effekte hinsichtlich Schweißgeschwindigkeit, Nahtausbildung und Zinkausgasung einstellen lassen.

Der Einsatz des neu entwickelten Stahlpulvers besitzt neben den geringeren Kosten noch weitere entscheidende Vorteile.



→ **Abbildung 1:** Schliffbild einer lasergeschweißten Fügeprobe im Überlappstoß, oben gedrucktes LAM-Material, unten gewalzter DP800



→ **Abbildung 2:** Für ein Elektrofahrzeug konzipierte Demonstratorbaugruppe der Fa. EDAG, die das Radhaus, additiv gefertigte C- und B-Säulenknoten, Schweller sowie die angrenzende Bodengruppe einer Karosserieseitenstruktur umfasst

So können schweißtechnisch schwieriger zu beherrschende Schwarz-Weiß-Verbindungen (also die Verbindung von ferritischen und austenitischen Stählen) vermieden werden, unterschiedliche Lackierverhalten werden umgangen und die allgemeine Prozessintegration in die konventionelle Rohbaufertigung wird erleichtert.

Das Forschungsprojekt StaVari wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm »Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen« unter dem Förderkennzeichen 02P15B060 gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA), Außenstelle Dresden, betreut. Das Fraunhofer IAPT bedankt sich bei den Projektpartnern EDAG Engineering, Ziehm Imaging, Salzgitter Mannesmann Forschung, Indutherm, GE Additive, Carl Cloos

Schweißtechnik, Hema Electronic, TU Chemnitz, Professur SLK und Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien IWT.

Gefördert vom



Betreut vom



KONTAKT

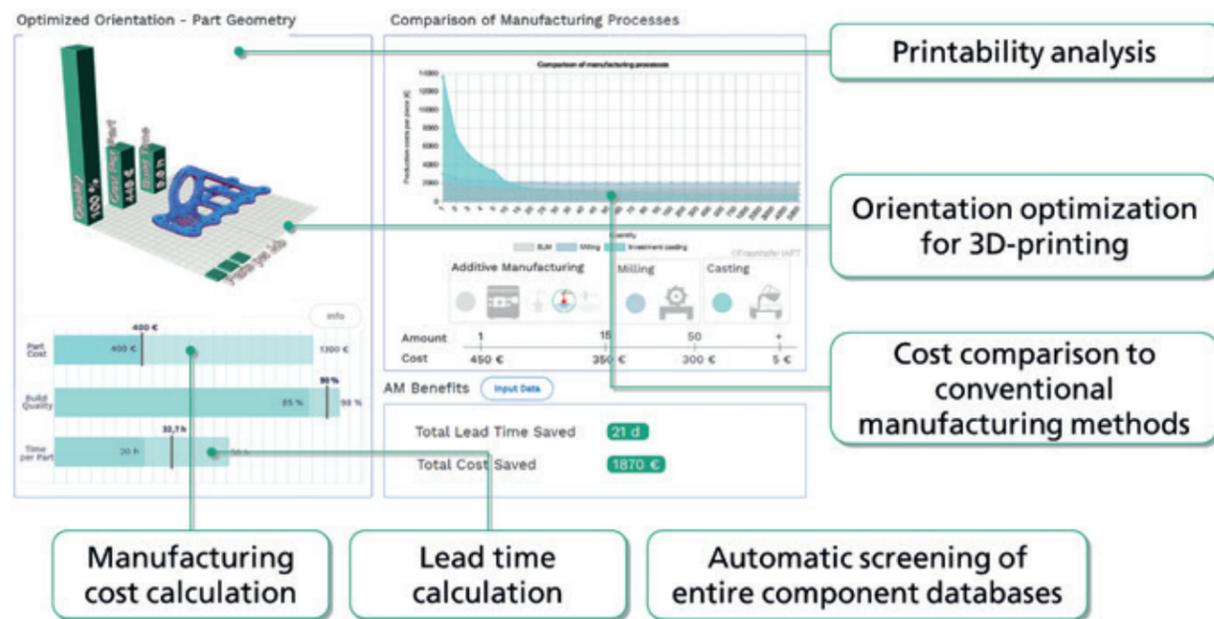
Markus Heilemann

+49 40 484010-627

markus.heilemann@iapt.fraunhofer.de



FINDE DEN RICHTIGEN AM-BUSINESS-CASE



Kosteneinsparungspotenziale finden

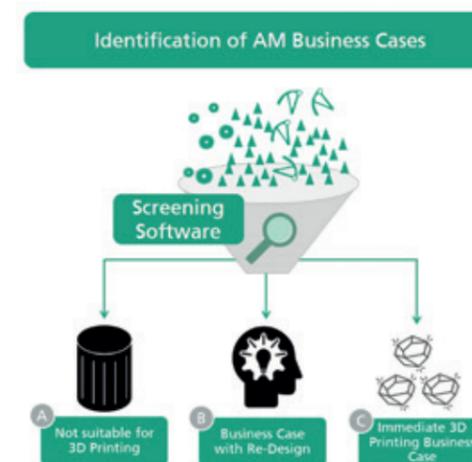
Der 3D-Druck birgt das Potenzial, die Performance von Bauteilen immens zu steigern, Lieferzeiten zu minimieren, die Ersatzteil-logistik zu vereinfachen und die Herstellungskosten für kleine Serien zu senken. Häufig gelingt es Unternehmen jedoch nicht, die relevanten Business-Cases zu identifizieren, um die vergleichsweise hohen Investitionskosten in additive Fertigungstechnologien zu rechtfertigen. Die Gründe hierfür reichen von mangelndem AM-Know-how im konventionell fertigenden Gewerbe bis hin zur Unmöglichkeit der händischen Untersuchung von historisch gewachsenen Bauteildatenbanken in Großunternehmen.

Digitales Part-Screening

Das Fraunhofer IAPT verfolgt daher das Ziel, das notwendige Know-how zur Identifikation von Business-Cases zu digitalisieren und den dafür notwendigen manuellen Arbeitsaufwand zu minimieren. Die entwickelte Anwendung bietet die Möglichkeit, Bauteile oder ganze Bauteildatenbanken im Hinblick auf potenzielle Anwendungsfälle des 3D-Drucks zu untersuchen. Die Analyse erfolgt hinsichtlich verschiedener Fertigungstechnologien sowohl im Kunststoff- als auch im Metallbereich. Insbesondere Herstellungskosten der unterschiedlichen Fertigungsverfahren sowie Optimierungspotenziale (wie z. B. das Leichtbaupotenzial) fließen in die Untersuchung ein. Nur auf

diese Weise lässt sich die Wirtschaftlichkeit eines jeden Anwendungsfalls präzise abschätzen. Zusätzlich wird automatisch überprüft, ob die Restriktionen des jeweiligen additiven Fertigungsverfahrens, wie bspw. maximale Überhangwinkel oder minimale Wand- und Spaltmaße, im Bauteildesign berücksichtigt sind oder ob Bauteilanpassungen notwendig sind. Die additive Fertigung von konventionell konstruierten Komponenten

additive Verfahren für kleine Stückzahlen bis hin zur Kleinserie die wirtschaftlichste Alternative dar, wohingegen konventionelle Fertigungstechniken wie der Feinguss bei großen Stückzahlen kostengünstiger produzieren. Die Software ermöglicht daher die einfache Identifikation von Break-even-Points der unterschiedlichen Fertigungstechnologien in Abhängigkeit von der zu fertigenden Stückzahl.



ist nur in einigen Spezialfällen wirtschaftlich. Vielmehr müssen die Möglichkeiten eines funktionalen additiven Re-Designs des Bauteils in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einfließen, um das volle Potenzial von AM nutzbar zu machen.

Vergleich zu konventionellen Herstellverfahren

Um eine Vergleichbarkeit der Herstellkosten zu konventionellen Fertigungsverfahren zu erreichen, sind entsprechende Kostenmodelle für z. B. Fräsen und Gießen hinterlegt. Häufig stellen

Flexible Nutzung in der Cloud oder On-Premise

Je nach Kundenwunsch lässt sich die Software in verschiedenen Szenarien einsetzen: In Form einer Software-as-a-Service-Lösung können Bauteile in einer cloudbasierten Anwendung hochgeladen und analysiert werden. Alternativ lässt sie sich für eine unternehmensinterne Nutzung auf Kundenservern installieren und von verschiedenen Standorten bedienen – Account- und Rollenmanagement sorgen für die Sicherheit der Daten und Zugriffsrechte. Darüber hinaus kann die Software als Stand-alone-Lösung oder Plug-in für CAD-Software (z. B. SolidWorks) verwendet werden.

KONTAKT

Fritz Lange
 +49 40 484010-766
 fritz.lange@iapt.fraunhofer.de



MASSGESCHNEIDERTE PRODUKTE PER KNOPFDRUCK

Maximale Individualisierung bei minimaler Lagerhaltung

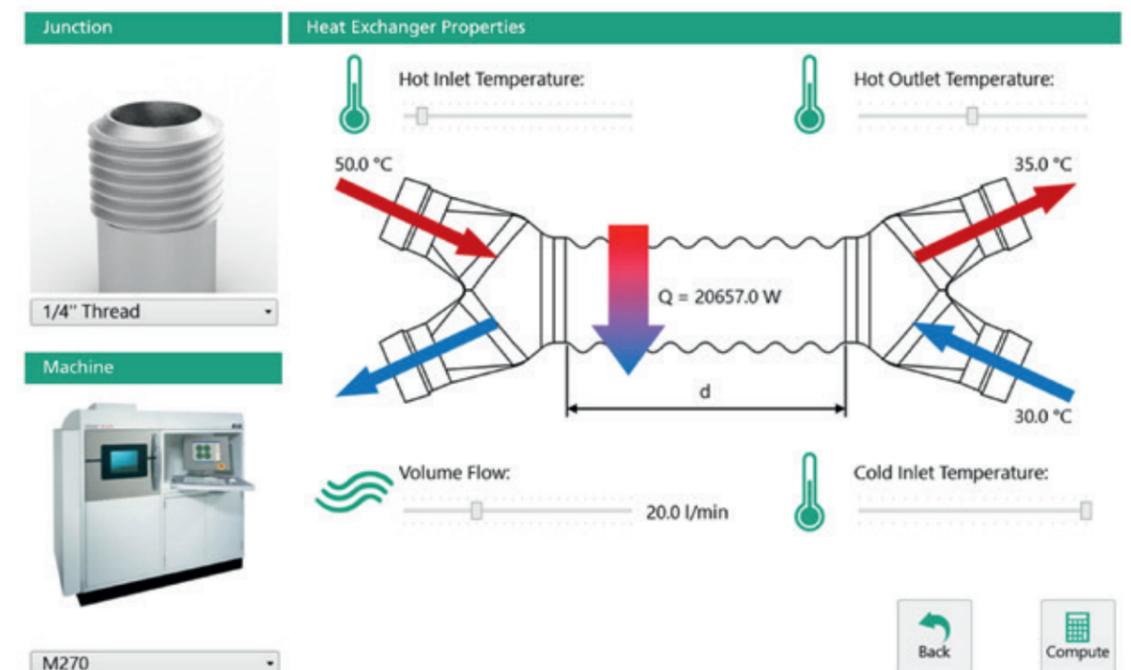
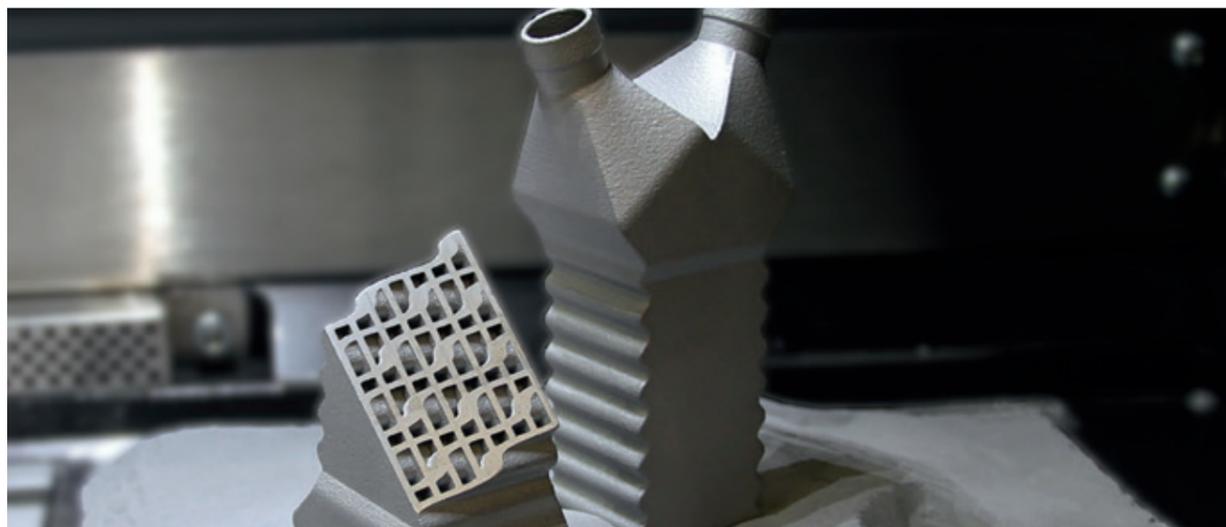
In einer digitalisierten Welt sind Kunden gewohnt, mit wenigen Klicks Produkte an ihre persönlichen Ansprüche anpassen zu können. Aufseiten des Produzenten stehen hinter solchen Anwendungen meist modulare Produktbaukästen oder riesige Bauteilkataloge mit hohem logistischen Aufwand. Die additive Fertigung bietet hingegen tatsächlich die Möglichkeit, kundenindividuelle Bauteile »auf Knopfdruck« herzustellen.

Die Vorteile der Technologie liegen auf der Hand. Bauteile können nach Bedarf mit minimaler Lagerhaltung produziert werden, und es macht in der Fertigung keinen Unterschied, ob 100 Exemplare desselben Bauteils oder 100 ähnliche Varianten mit geringfügigen Abweichungen hergestellt werden. Viele Produzenten haben diesen Vorteil erkannt und bieten Konfiguratoren

an, um den Kunden die Anpassung von Beschriftung, Form, Größe und Optik ihrer Produkte zu ermöglichen.

Automatisiertes Bauteildesign

Das größte Potenzial der additiven Fertigung bleibt hierbei jedoch ungenutzt: höchste Funktionalität durch nahezu grenzenlose Gestaltungsmöglichkeiten. So lassen sich durch gezieltes Design Vorteile in Gewicht, Wärmeübertragung, Strömungsdynamik und vielen weiteren Bereichen erzielen. Solche vielschichtigen Aufgabenstellungen lassen sich jedoch nicht mehr mit einfachen Konfiguratoren realisieren, sondern benötigen in jedem einzelnen Anwendungsfall eine aufwendige Optimierung mittels Simulation durch geschultes Personal. Dies führt gerade bei individualisierten Produkten und Kleinserien zu hohen Kosten.



Als Lösung entwickelt das Fraunhofer IAPT Simulations-Apps, die die komfortable Bedienung von Konfiguratoren mit dem digitalisierten Expertenwissen und multiphysikalischer Simulation vereinen. Dies wurde u. a. anhand der App HeatXchangeIO für individuelle Wärmetauscher erfolgreich demonstriert. Der Nutzer passt das Produkt mit wenigen Klicks seinen individuellen Anforderungen an: Temperaturen, Volumenstrom, verfügbare Maschine und gewünschte Anschlüsse. Die App greift auf bereits berechnete Lösungen zurück, um in Sekundenschnelle ideale Varianten, deren Charakteristiken und das CAD-Modell anzubieten. Die Designrestriktionen des Herstellungsverfahrens sind dabei vollständig berücksichtigt. Wurde

eine Variante gewählt, kann zusätzlich eine Simulation des Wärmetauschers angestoßen werden, um die Prognose zu validieren und exakte Werte zu erhalten. Derartige Apps lassen sich auf beliebige Produkte übertragen, und mit geringem Aufwand und wenigen Vorkenntnissen kann das volle Potenzial der additiven Fertigung genutzt werden.

KONTAKT

Dr. Arthur Seibel
 +49 40 484010-748
 arthur.seibel@iapt.fraunhofer.de





AR-ASSISTENZSYSTEME ZUR RÜST- UND WARTUNGSOPTIMIERUNG IN DER AM-PROZESSKETTE

Die additive Fertigung ist als wesentlicher Bestandteil heutiger und zukünftiger Produktionssysteme einem ständigen Wandel unterworfen. Aufgrund der grundlegenden Unterschiede zu konventionellen Fertigungsverfahren und der Vielfalt der AM-Technologien ist der Bedarf an ausgebildeten Fachkräften in der Branche entsprechend hoch. Noch heute werden die Prozessketten der industriellen additiven Fertigung von manuellen Tätigkeiten in den Prozessschritten, die dem Bauprozess vor- und nachgelagert sind, begleitet. Die menschliche Unterstützung ist derzeit unverzichtbar, insbesondere bei der für die additive Fertigung prädestinierten kundenspezifischen Kleinserienfertigung. Jeder Schritt der generischen Prozesskette erfordert spezifisches Fachwissen über den jeweiligen AM-Prozess, seien es Konstruktionsrichtlinien, Maschinenbedienung oder Prozessparameter. Da, neben hohen Investitionen für industrielle AM-Systeme, dieses spezielle Wissen für eine produktive Nutzung benötigt wird, ist die Einstiegshürde insbesondere für KMUs hoch.



Um der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine in der digitalen Produktion gerecht zu werden, können digitale Assistenzsysteme mit Augmented-Reality-Unterstützung (AR-Unterstützung) eingesetzt werden. AR (deutsch: erweiterte Realität)

gehört zu den immersiven Technologien, d. h. Prozessen, die es dem Menschen ermöglichen, in eine virtuelle Umgebung einzutauchen. Während bei der Virtual Reality (VR – deutsch: virtuelle Realität) die Wahrnehmung der Umgebung des Nutzers komplett durch eine virtuelle Welt ersetzt wird, wird bei AR die reale Umgebung um virtuelle Informationen erweitert. Für den Einsatz von AR stehen heutzutage etliche Endgeräte wie Smartphones und Tablets, aber auch dedizierte AR-Brillen zur Verfügung. Um kontextsensitive Informationen in Echtzeit einzublenden, werden Computer-Vision-Algorithmen verwendet, die durch Auswertung des Kamerabildes Informationen über die Umgebung abrufen. Auch wenn das Potenzial dieser Technologie für die industrielle Anwendung bereits vor einigen Jahren erkannt wurde, ermöglichen erst jüngste Fortschritte bei der Hard- und Softwareentwicklung die effiziente Verwendung in industriellen Einsatzszenarien.

Daher wurde am Fraunhofer IAPT ein AR-gestütztes digitales Assistenzsystem zur Begleitung komplexer situationsbezogener Prozessschritte entwickelt, um die additive Fertigung schneller neuem Personal zugänglich zu machen und durch Standardisierung der Abläufe die Arbeitssicherheit zu erhöhen sowie menschliche Fehler zu vermeiden. Hierdurch wird der Einfluss händischer Tätigkeiten auf die Bauteilqualität reduziert. Ein solches System wurde im Projekt für manuelle Tätigkeiten in der Prozesskette des Laserstrahlschmelzens (Laser Beam Melting – LBM) eingesetzt. Weitere positive Effekte auf die Produktivität sowie Kosten- und Zeitersparniseffekte durch Standardisierung von Prozessen wurden aufgezeigt.

Das digitale Assistenzsystem ist folgendermaßen aufgebaut: Der Nutzer kann über eine einfache grafische Benutzeroberfläche jeden benötigten manuellen Prozess für das Rüsten und



Bedienen einer LBM-Anlage auswählen. Zu den Wartungs- und Rüstprozessen zählen bspw. das Einrichten der Bauplattform, das Säubern der Prozesskammer oder der Austausch der Beschichterklinge. Schritt für Schritt wird der Anwender durch jeden Prozess begleitet. Neben einer Texteinblendung der jeweiligen Aufgabe wird der Prozessschritt visuell mit Hinweisen und Animationen durch Objekt- und Bilderkennung erweitert, um die Handlung eindeutig zu gestalten. Ein Prozessassistent hilft dabei, die benötigten Prozessschritte für die zu erfüllende manuelle Tätigkeit auszuwählen. Die Software kann auf einem Tablet eingesetzt werden, um eine gemeinsame Nutzung zu ermöglichen, und unterstützt neben LBM auch andere additive Verfahren.

Beispielhaft wird die Anwendung für den Austausch der Beschichterklinge dargestellt. Beim LBM-Verfahren wird mit einer Beschichterklinge eine definierte Pulverschicht aufgetragen, um schichtweise Bauteilgeometrien selektiv mit einem Laser zu verfestigen. Die Beschichterklinge muss je nach zu bearbeitendem Material und bei Verschleiß getauscht werden. Bei falscher Montage droht ein Prozessabbruch, da ein konsistenter Pulverauftrag in diesem Fall nicht gewährleistet ist. Der Prozess der Installation einer neuen Beschichterklinge bei einer

EOS-M290-Industrieanlage besteht aus 14 Prozessschritten. Grundsätzlich werden alle 14 Prozessschritte durch textbasierte Handlungsanweisungen beschrieben, um den Prozess vollumfänglich zu begleiten. Zu Beginn muss der Arbeitsbereich eingerichtet werden, indem das Erdungskabel angeschlossen wird. Hierfür wird dem Nutzer die Anschlussstelle in der Produktionshalle visuell hervorgehoben und erst bei Bestätigung der Umsetzung kann mit dem nächsten Schritt fortgefahren werden. Die Beschichterkomponente befindet sich im Bauraum der Anlage. Diese wird durch einen Computer-Vision-Algorithmus erkannt und die zu lösenden Schrauben werden in der korrekten Reihenfolge animiert dargestellt. Nach erfolgreicher Demontage und Austausch der Beschichterklinge wird auch der richtige Wiedereinbau der Bauteile begleitet.

Auch wenn die Automatisierung der gesamten Prozesskette das gesetzte Ziel vieler Vorhaben rund um das Thema Linienintegration der additiven Fertigung ist, werden auch in naher Zukunft weiterhin Prozessschritte durch Menschen durchgeführt oder überwacht werden müssen. Insbesondere bei der bedarfsgerechten Individualfertigung ist eine Begleitung durch den Menschen momentan unerlässlich. Perspektivisch bietet AR zudem ein neues Handlungsfeld als Schnittstelle im soziocyberphysischen System für die Mensch-Maschine-Interaktion. Wie in der progressiven Industrie 5.0 gefordert, soll eine Humanzentrierung und eine Kollaboration zwischen den Menschen als Anwender der intelligenten Maschine stattfinden.

KONTAKT

Malte Buhr

+49 40 484010-628

malte.buhr@iapt.fraunhofer.de



QUALITÄTSMANAGEMENT DURCH BIG DATA UND ZERTIFIZIERUNG

Die Produktion von sicherheitsrelevanten Bauteilen erfordert ein hohes Maß an Prozesskontrolle, Wiederholbarkeit und Qualitätssicherung. Besonders Märkte wie Luftfahrt, Medizintechnik und Automobilbranche verlangen einen nachweisbaren und zuverlässigen Produktionsprozess. Der komplexe additive Fertigungsprozess erfüllt diese Anforderungen bisher noch nicht in ausreichendem Umfang.

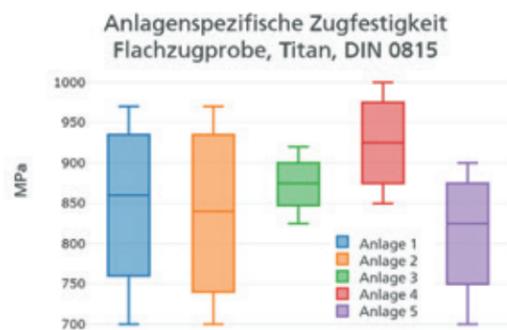
Hohe Prozessstabilität durch Big Data

Um einen zuverlässigen Produktionsprozess und einfache Rückverfolgbarkeit zu ermöglichen, entwickelt das Fraunhofer IPT mit dem Additive Quality Manager® (AQM) eine eigene Softwarelösung, die die spezifischen Anforderungen der additiven Fertigung berücksichtigt. Im AQM werden alle relevanten Produktions- und Qualitätsdaten in einer gemeinsamen Da-

te die Qualität der Produkte kann kontinuierlich verbessert werden. Das Analysemodul zeigt deutlich die Schwankung der Materialeigenschaften zwischen verschiedenen Anlagensystemen.

Rückverfolgbarkeit und Qualitätszertifikate

Auf Basis der Daten können bei auftretenden Fehlern die Ursachen schnellstmöglich identifiziert und behoben werden. Zusätzlich wird durch die umfassende Datenbank eine Rückverfolgbarkeit der Bauteile sichergestellt und es lassen sich automatisiert Qualitätszertifikate für gefertigte Bauteile generieren.



→ **Abbildung 1:** Das Analysemodul zeigt deutlich die Schwankung der Materialeigenschaften zwischen verschiedenen Anlagensystemen

tenbank gespeichert. Mit den strukturierten Daten lassen sich mithilfe statistischer Analysen und maschinellen Lernens die Wirkzusammenhänge der Einflussgrößen besser verstehen und

- Hohe Prozessstabilität
- Steigerung der Qualität
- Durchgängige Rückverfolgbarkeit

→ **Abbildung 2:** Vorteile durch den AQM in der Produktion

KONTAKT

Peter Lindeke

+49 40 484010-730

peter.lindeke@iapt.fraunhofer.de





FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

AM Design

- 48 Prozessmonitoring und Datenanalyse
- 50 Multi-Physik-Optimierung
- 52 Softrobotik

AM Prozesse

- 53 Granulatbasierter Metalldruck von Titan
- 54 Maßgeschneiderte Aluminiumlegierungen für die additive Fertigung
- 56 Wertschöpfungssteigerung in Pulverbettverfahren
- 58 Extrusionsbasierte Polymer-AM-Verfahren
- 60 SLS-Quenchbox
- 61 Hybride additive Fertigung

AM Systeme

- 62 SensPRO – Sensorik für Auftragschweißen
- 63 SenseLight
- 64 Additive Mobile Factory
- 66 Titangroßstrukturen für die Luftfahrt
- 68 Mobile Werkzeugreparatur durch Auftragschweißen



QUALITÄTSSICHERUNG IN AM

3D-Drucker, die aus Metallpulver Produkte mit komplexen Geometrien fertigen, gewinnen stetig an Bedeutung. Branchen wie Luftfahrt, Medizintechnik oder Maschinenbau setzen verstärkt auf diese Technologie. Bislang haben die 3D-Drucker jedoch begrenzte Möglichkeiten zur Fehlererkennung, da sie nur über wenige Sensoren zur Prozessüberwachung verfügen und die Interpretation der Daten eine Herausforderung darstellt. Dadurch kann auf unvorhergesehene Störungen im Herstellungsprozess nicht reagiert und die Bauteilqualität nicht zuverlässig gewährleistet werden. Dies bedingt eine aufwendige und teure Qualitätssicherung der gefertigten Bauteile (z. B. durch μ CT).

Fehlererkennung durch Multi-Sensor-Technologie

Das Ziel des Forschungsprojekts InSensa (In-Prozess-Sensorik und adaptive Regelungssysteme für die additive Fertigung) war daher die Entwicklung und Integration von Sensor- und Regelungstechnik für pulverbettbasierte Metall-3D-Drucker zur Senkung der Fehlerquote. Bauteilfehler sollen bereits während des Produktionsprozesses erkannt und bei anschließenden Druckvorgängen verhindert werden.

Um dies zu erreichen, hat das Fraunhofer IAPT einen flexiblen Aufbau zur Integration von Strahlungssensoren, Topographiesensoren sowie Kameras für den sichtbaren und nicht sichtbaren Infrarotbereich entwickelt. Gemeinsam mit den Projektpartnern Materialise, Aconity, Precitec, Optris, ISRA Vision, BIMAQ und C.F.K. wurde die Eignung der Sensoren bezüglich der Detektierbarkeit unterschiedlicher Defekttypen untersucht. Die Sensorik erfasst den Druckprozess in der Anlage in Echtzeit und schafft eine neue Datengrundlage für die Prozessüberwachung.

Datenanalyse mit KI

Durch die vielen Sensoren und deren hohe Taktraten entstehen während der Fertigung große Datenmengen. Die Interpretation dieser Datenmenge ist »klassisch« kaum noch zu bewerkstelligen, weshalb das Fraunhofer IAPT Machine-Learning-Algorithmen zur Detektion von Prozessabweichungen und Bauteilfehlern auf Basis von Schichttopographien und thermischen Emissionen auch über das Projekt hinaus entwickelt. Probekörper und Verfahren zur Provokation von Defekten ermöglichen dabei eine genaue Korrelation zwischen Sensorsignal und Defekten.

Echtzeitregelung zur Prozessstabilisierung

Weiterhin wurde im Projekt InSensa ein Regelkreis erfolgreich getestet, der Unregelmäßigkeiten durch Anpassung der Laserleistung in Echtzeit kompensiert, sodass Fehler bereits während ihrer Entstehung verhindert werden können.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzepts »Forschung für die Produktion von morgen« (Förderkennzeichen O2P15B076) gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT), geleitet.

KONTAKT

Peter Lindeke

+49 40 484010-730

peter.lindeke@iapt.fraunhofer.de



FUNKTIONSOPTIMIERUNG DURCH ADDITIVE FERTIGUNG

Die additive Fertigung (Additive Manufacturing, AM) ist nicht nur für den Leichtbau sehr gut geeignet, sondern bietet durch die geometrische Designfreiheit auch die Möglichkeit, Bauteile hinsichtlich weiterer Funktionen zu verbessern bzw. zu optimieren, wie z. B. Wärmeübertragung, Strömung, Akustik und Schwingungen. Dadurch ist insbesondere ein funktionsoptimiertes Leichtbaudesign von Bauteilen möglich.



→ **Abbildung 1:** Öl-Wasser-Wärmetauscher für Hochleistungsmotoren basierend auf zellulären Strukturen (unten: Vollversion, oben: Halbschnitt)

Wärmeoptimierung durch AM

Ein häufiges Anwendungsgebiet der additiven Fertigung ist das Design von hocheffizienten Wärmetauschern. In diesem Kontext forscht das Fraunhofer IAPT an der optimalen Gestaltung von Kühlkanälen auf Basis von zellulären Strukturen.

Ein Beispiel für einen Wärmetauscher basierend auf zellulären Strukturen ist in Abbildung 1 dargestellt. Mit diesem Wärmetauscher kann z. B. bei Hochleistungsmotoren das stark aufge-

heizte Öl mithilfe von Wasser wieder auf Betriebstemperatur heruntergekühlt werden. Durch die Gestaltung der Kühlkanäle als zelluläre Strukturen ergibt sich ein guter Kompromiss zwischen geringem Strömungswiderstand und gutem Wärmeübergang bei kompakter Bauweise. Ein weiteres Anwendungsfeld für auf zellulären Strukturen basierende Wärmetauscher ist die Kühlung von Computerchips oder von Leistungselektronik.

Akustisches Design durch AM



→ **Abbildung 2:** Additiv gefertigter Rohrschalldämpfer (links: Vollversion, rechts: Viertelschnitt)

Zelluläre Strukturen kommen nicht nur bei der Gestaltung von optimalen Kühlkanälen zum Einsatz, sondern ermöglichen auch akustisches oder Sounddesign. Diese Strukturen sind nämlich in der Lage, die Schallausbreitung für bestimmte Frequenzen zu beeinflussen oder auch ganze Frequenzbänder herauszufiltern.

Ein Anwendungsbeispiel für akustisches Design ist der in Abbildung 2 abgebildete Rohrschalldämpfer. Dieser lässt sich z. B. zur Dämpfung von Klimatisierungsgeräuschen verwenden. Insbesondere in Elektrofahrzeugen treten Störgeräusche in den Vordergrund, die durch das Klimatisierungssystem verursacht werden. Mit dem gezeigten Schalldämpfer lassen sich diese signifikant reduzieren. Eine Herausforderung bei der Entwicklung ist der begrenzte Bauraum, wodurch die additive Fertigung durch ihren hochintegrativen Ansatz ihre Vorteile ausspielen kann. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Integration von Schalldämpfern in Ventilgehäuse oder andere schallabstrahlende Strukturen.

Integrierte Partikeldämpfung durch AM

Viele technische Systeme weisen unerwünschte Schwingungen auf, die gedämpft werden müssen. Die (pulverbettbasierte) additive Fertigung ermöglicht es, in den Bereichen hoher Schwingungsamplituden Pulver in Kavitäten zu belassen und so gezielt Bauteildämpfung zu betreiben. Klassische Partikeldämpfer müssen typischerweise manuell außen angebracht oder in das Bauteil integriert werden. Durch die integrierte Partikeldämpfung entfällt dieser Aufwand und es können Bereiche gedämpft werden, zu denen man bei klassischen Dämpfern keinen Zugang hat. Am Fraunhofer IAPT wird erforscht, inwieweit sich das Prinzip der integrierten Partikeldämpfung für verschiedene technische Anwendungen nutzen lässt.

Ein Beispiel für eine solche technische Anwendung ist die in Abbildung 3 im Ausschnitt dargestellte Kurbelwelle. Diese enthält in ihren Schwungmassen mehrere mit Pulver gefüllte Kavitäten, wodurch sich die durch Verbrennungsimpulse sowie

ungleichmäßige Verbrennung auftretenden Schwingungen dämpfen lassen. Dies ermöglicht die Nutzung kleinerer Schwungmassen, wodurch der ganze Motor kompakter ausgeführt werden kann.



→ **Abbildung 3:** Additiv gefertigte Kurbelwelle (Ausschnitt) mit integrierten Partikeldämpfern (die vordere Schwungmasse ist transparent dargestellt)

Gefördert durch die Fraunhofer-Gesellschaft in dem Projekt »Light Materials 4 Mobility – LM4M«.

KONTAKT

Dr. Arthur Seibel
 +49 40 484010-748
 arthur.seibel@iapt.fraunhofer.de

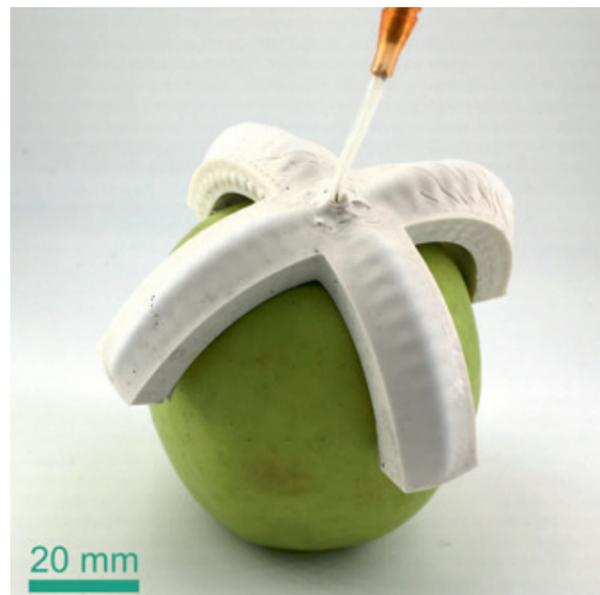


ROBOTER AUS DEM SILIKONDRUCKER

Die Softrobotik ist ein sich rasch entwickelnder Bereich in Wissenschaft und Technik, der eher als Erweiterung denn als Konkurrenz zur klassischen, harten Robotik angesehen werden kann. Weiche Roboter können sicher mit Menschen sowie ihrer Umgebung interagieren, passen sich gut an unterschiedliche Objekte an und weisen ein geringes Gewicht sowie einen reduzierten Energieverbrauch auf. Die volle Ausschöpfung des Potenzials weicher Maschinen wurde jedoch bislang durch den Mangel an geeigneten Fertigungsverfahren behindert. Der Silikon-3D-Druck erlaubt es nun, komplexe pneumatisch angetriebene Strukturen individualisiert und ohne zusätzliche Werkzeuge kostengünstig zu fertigen.

Das Design von Softrobotern basiert oft auf natürlichen Systemen ohne harte innere Skelette, wie z. B. Tintenfische, Quallen oder Würmer. Ihre spezifischen Eigenschaften ermöglichen ein breites Spektrum neuer Anwendungen. Im medizintechnischen Bereich können durch die Softrobotik z. B. Rehabilitations- und Assistenzsysteme sowie Prothesen deutlich nachgiebiger und damit für den Patienten verträglicher realisiert werden. Weitere Anwendungsgebiete sind das Greifen und Manipulieren von unbekanntem und/oder fragilen Objekten sowie Mensch-Maschine-Schnittstellen (wie z. B. weiche Exoskelette).

Am Fraunhofer IAPT werden Softrobotik-Systeme entwickelt, die im Silikon-3D-Druckverfahren gefertigt und pneumatisch angetrieben werden. Ein Beispiel für ein solches System ist der in Abbildung 1 dargestellte weiche Universalgreifer, der unterschiedlich geformte Objekte sanft fassen kann. Einsatz finden solche Greifer in der Logistik oder bei der Handhabung von Lebensmitteln. Hierbei ermöglicht der 3D-Druck eine hohe Individualisierbarkeit und eine kostengünstige Fertigung ab Stückzahl eins.



→ **Abbildung 1:** Additiv gefertigter weicher Universalgreifer beim Greifen eines Apfels (in Kooperation mit Lynxter, Frankreich) (Lynxter SAS, Frankreich)

KONTAKT

Dr. Arthur Seibel

+49 40 484010-748

arthur.seibel@iapt.fraunhofer.de

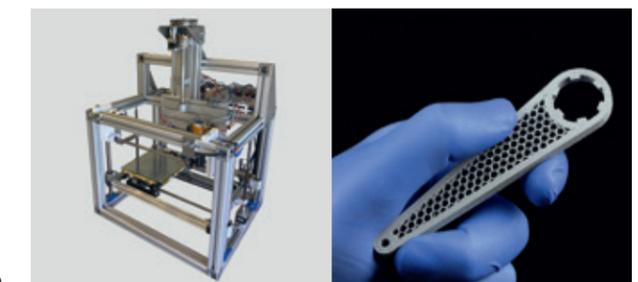


GRANULATBASIERTER METALL-3D-DRUCK FÜR DIE MIM-INDUSTRIE

Das im Metallpulverspritzguss (engl. Metal Injection Molding, MIM) verarbeitete Ausgangsmaterial, der sogenannte Feedstock, besteht aus Kunststoffgranulaten mit hohem metallischen Füllgehalt (> 50 Vol.-Prozent). Dieser Feedstock wird im Spritzgussverfahren zu Grünteilen geformt, die im Nachgang sukzessive von ihren polymeren Bestandteilen (Bindersystem) befreit und final zu dichten, metallischen Bauteilen gesintert werden. Da für die Bauteilherstellung ein Spritzgusswerkzeug notwendig ist, eignet sich MIM primär für größere Stückzahlen.

Eine direkte Verarbeitung dieser Feedstocksysteme durch 3D-Druck zur profitablen Herstellung von Funktionsprototypen, Ersatzteilen oder Funktionsbauteilen in Kleinserie ist momentan ausschließlich mit schneckenbasierter Materialextrusion (engl. Fused Granular Fabrication, FGF) möglich. Nachteilig an diesem Verfahren ist die im Vergleich zur filamentbasierten Materialextrusion (engl. Fused Filament Fabrication, FFF) teurere Anlagentechnik. So sind die Anlagenkosten für FGF-Systeme um ca. einen Faktor zehn höher anzusetzen. Demgegenüber ist die Anlagentechnik für das am weitesten verbreitete 3D-Druckverfahren FFF deutlich preisgünstiger, die Verarbeitung von MIM-Feedstocksyste-men ist jedoch nicht ohne eine Adaption des Bindersystems im Feedstock möglich. Dies ist wiederum notwendig, um die für das FFF-Verfahren erforderlichen strangförmigen Halbzeuge, die Filamente, herzustellen. Ein Anlagensystem, das auf eine preisgünstige FFF-Anlagentechnik aufbaut, aber granulare MIM-Feedstocksyste-me verarbeiten kann, ist das Ziel des ZIM-Kooperationsprojekts SinTiM (FKZ: ZF4547817DE8). Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein Anlagensystem entwickelt, dessen Funktionsstruktur an einen marktüblichen FFF-Drucker angelehnt und somit in einem ähnlichen Preissegment zu verorten ist (5–10 T€). Das System wurde ferner so konzipiert, dass es

auch gröber pelletierte kommerzielle MIM-Feedstocksyste-me problemlos verarbeiten kann. Dadurch lassen sich additiv gefertigte Grünteile mit der gleichen Prozesskette wie spritzgegossene Grünteile weiterverarbeiten, was große Einsparungspotenziale für bspw. die Herstellung von Funktionsprototypen ermöglicht. Hierzu wurde anstelle einer Schneckenextrusion eine kolbenbasierte Materialextrusion (Piston-based Feedstock Fabrication, PFF) gewählt.



→ **Abbildung 1:** Anlage zur kolbenbasierten Feedstockextrusion und Funktionsdemonstrator (Element 22 GmbH)

Das PFF-System konnte bereits erfolgreich in Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner, der Element 22 GmbH, für einen Titan-Feedstock validiert werden. Die resultierenden Werkstoffeigenschaften erreichen bereits zielmarktrelevante Normen und sind vergleichbar mit MIM – hinsichtlich der erzielbaren Duktilität liegen sie sogar darüber.

KONTAKT

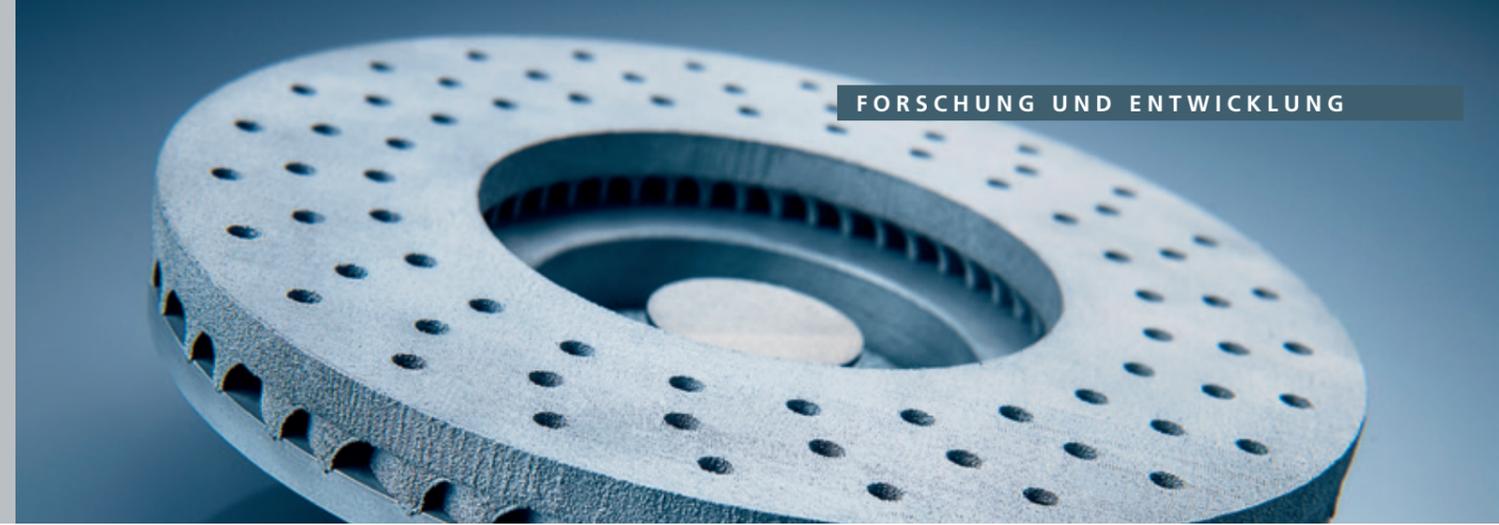
Lennart Waalkes

+49 40 484010-762

lennart.waalkes@iapt.fraunhofer.de



MASSGESCHNEIDERTE ALUMINIUM- LEGIERUNGEN FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG



Einsatz von Aluminiumlegierungen – ideal für den Leichtbau

Eine bislang begrenzte Materialauswahl sowie große Potenziale für maßgeschneiderte Anwendungslösungen machen spezialisierte Aluminiumlegierungen zu einem der wesentlichen Forschungsfelder des Fraunhofer IAPT in der Material- und Prozessentwicklung.

Eingesetzt werden Al-Legierungen in allen großen Industriezweigen wie dem Fahrzeug- und Schiffsbau, dem Bauwesen und dem Maschinen- und Anlagenbau. Die geringe Dichte und die damit verbundene hohe Eignung für Leichtbaukomponenten kombiniert mit den Möglichkeiten der AM-Topologie-Optimierung macht Aluminium für den Großteil gewichtsoptimierter Komponenten zum idealen Werkstoff.

Die zügige Entwicklung und zunehmende Bedeutung der additiven Fertigung in der Industrie wird jedoch durch das vergleichsweise übersichtliche Materialspektrum gebremst. Die Entwicklung neuer Legierungen ist eine wesentliche Grundlage, um das Anwendungsfeld der laseradditiven Fertigung deutlich zu erweitern. Neben vielen Vorteilen gibt es in der Entwicklung neuer Aluminiumlegierungen allerdings auch Hürden zu überwinden. So kann man bei hochfesten Varianten oftmals nicht von einer guten Schweißbarkeit oder einem stabilen Prozess sprechen. Um die prozessbedingten Hindernisse zu überwinden, werden unterschiedliche Methoden und Konzepte am Fraunhofer IAPT umgesetzt.

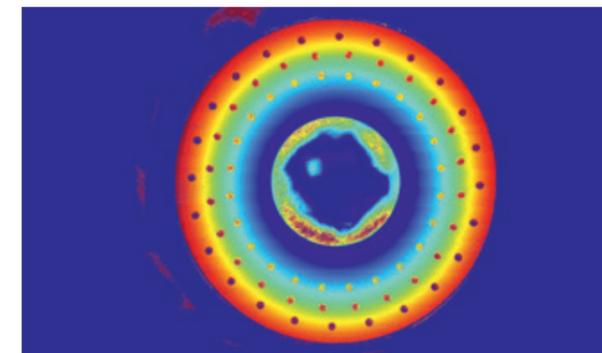
Alternative Anlagentechnik für die Verarbeitung hochfester AlMg-Legierungen

Hochfeste Aluminiumlegierungen sind oftmals auf seltene und teure Legierungselemente wie bspw. Scandium angewiesen, wodurch, neben einer erhöhten Performance, auch ein hoher Preis resultiert. Aluminium-Magnesium-Legierungen hingegen weisen ebenfalls sehr gute mechanische Eigenschaften auf und verzichten dabei auf exotische Legierungsbestandteile, weshalb sie eine interessante Alternative darstellen.

Um diese anspruchsvolle und im additiven Fertigungsprozess zu Heißrissen und Poren neigende Legierung verarbeiten zu können, wurde am Fraunhofer IAPT ein alternatives Strahlprofil verwendet. Während beim Einsatz eines gängigen Gauß-Strahlprofils der Energieeintrag mittig zentriert und entsprechend heterogen verteilt ist, konnte durch die Verwendung eines M-Profils der Energieeintrag im Fokus homogenisiert werden.

Durch diese Maßnahme kann der Abbrand von bestimmten Legierungselementen – in diesem Fall Magnesium – und damit auch die Entwicklung von Schmauch im Prozess effektiv reduziert und die Prozessstabilität signifikant erhöht werden. Auch konnte in den Versuchen eine deutliche Steigerung der Prozessgeschwindigkeit erreicht werden. Diese auch im Sandguss verwendete und bspw. bei olympischen Segeljollen eingesetzte Legierung konnte somit erfolgreich im additiven Prozess umgesetzt werden.

Hybride Produktion – hochfeste AM-Aluminiumlegierungen und sensorbasierte hybride Fertigung



→ **Abbildung 1:** Mittels OCT-Sensor aufgenommenes Höhenprofil der Bremsscheibe

Im Zuge des Projekts LHASA (laseradditive Fertigung von hochfesten Aluminiumstrukturen, Förderkennzeichen: 16KN021234) wurden die Legierungen PLM 905 – ein warmfester, naturharter Al-Werkstoff, der eine Verbesserung zu AA2618 darstellt – und PLM 432neo – eine übereutektische Kolbenlegierung, die optimierte Eigenschaften gegenüber AA4032 aufweist – für den LB-PBF-Prozess qualifiziert. Beide Legierungen erreichen dabei Zugfestigkeiten von 450–550 MPa.

Die Qualifizierung erfolgte an Demonstratoren aus dem Automobilbereich: Ventildfederteller und Bremsscheibe. Die Bremsscheibe wurde dabei in hybrider Bauweise aus einem konventionell gefertigten Unterbau und einem laseradditiv gefertigten Aufbau generiert. So konnte eine innen liegende

Belüftungsstruktur auf kostensparende Weise verwirklicht werden. Um einen passgenauen Übergang zu gewährleisten, muss die Position des konventionell gefertigten Halbzeugs erfasst werden. Zu diesem Zweck wurde ein OCT-Sensor entwickelt, dessen Output als Höhenprofil in Abbildung 1 zu sehen ist. Der Einsatz hybrider Fertigungsmethoden zielt u. a. auf eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit ab. Dabei wird auf konventionell gefertigte Halbzeuge weiter aufgebaut, um Kosten zu senken und die Prozessgeschwindigkeit zu erhöhen.

Ausblick – die Zukunft von Aluminiumlegierungen in der additiven Fertigung

Neben der Realisierung von hochfesten oder hochduktilen Eigenschaften über die Modifikation der chemischen Komposition wird derzeit im Rahmen eines DFG-Vorhabens auch der Ansatz verfolgt, das Materialgefüge mit keramischen Partikeln innerhalb eines Metall-Matrix-Komposit-Verbunds zu stärken. Im Hinblick auf additive Fertigungsverfahren werden gerade im Bereich LB-PBF-Werkstoffe mit Al-Basis eine verstärkte Rolle spielen, um die Anforderungslücke zwischen teuren Leichtbaulegierungen wie Ti64 oder AlSc und einer normalen AlSi10Mg-Gusslegierung weiter zu schließen.

KONTAKT

Maximilian Kluge

+49 40 484010-728

maximilian.kluge@iapt.fraunhofer.de





HÖHERE BAUTEILQUALITÄT DURCH INTELLIGENTE SCANSTRATEGIEN

Neue Werkstoffe für die Potenzialentfaltung der additiven Fertigung

Neuartige Herstellungsverfahren werden im ersten Schritt häufig an etablierten Werkstoffen evaluiert, weil diese gut erforscht und Abweichungen vom typischen Verhalten dementsprechend gut eingeordnet werden können. Dennoch bieten speziell für einen Anwendungsfall bzw. für ein Herstellungsverfahren entwickelte Legierungen ein großes Potenzial für eine erhöhte Wertschöpfung. Gegenüber einst für konventionelle Verfahren entwickelten Legierungen bieten solche neuartigen, konkret für den Laserstrahlschmelzprozess entwickelte Legierungen den Vorteil einer optimalen Eigenschaftskombination für den Anwendungsfall bei einer gleichzeitig sicheren und qualitativ hochwertigen Verarbeitung des Materials.

In der Vergangenheit wurde dieses Konzept am Fraunhofer IAPT bereits erfolgreich sowohl für die Automobilindustrie als auch für die Luft- und Raumfahrt umgesetzt. Aktuell betrachtet das Fraunhofer IAPT ein neuartiges, von seinem Partner TANIJOBIS GmbH entwickeltes Legierungsmodell einer Ti/Nb/Ta-Legierung für den Einsatz in der Medizintechnik. Ziel der Legierungsentwicklung ist eine Angleichung der Elastizität eines orthopädischen Implantats an das Elastizitätsmodul des menschlichen Knochens, damit eine Rückbildung des Knochens um das Implantat herum durch ein sogenanntes »Stress-Shielding« verhindert werden kann. Gleichzeitig fördern die im Gegensatz zu Kobalt und Chrom nicht toxischen Legierungsbestandteile das Anwachsen von Knochenzellen an das Implantat.

Produktivität und Kosten – der Weg zur Industrialisierung des LBM

Neue Legierungen für die additive Fertigung, individuelle Wertschöpfungsketten und innovative Lösungen können die wachsenden und in der Komplexität steigenden Kundenwünsche zwar bedienen und neue Produkte generieren, allerdings gelingt eine wirtschaftliche Umsetzung der Produkte noch zu selten. Ein Hauptgrund hierfür sind die immer noch vergleichsweise hohen Produktionskosten der additiven Fertigung. Hier zeigt sich wie auch bei der additiven Serienfertigung erneut, dass eine wesentliche Aufgabe zur weiteren Industrialisierung der additiven Fertigung die Reduzierung der Produktionskosten ist. Der größte Hebel zu einer Kostensenkung beim Laserstrahlschmelzen besteht aktuell während der Belichtungsphasen durch den Laserstrahl (bzw. die Laserstrahlen). Das Fraunhofer IAPT untersucht derzeit unterschiedliche Aspekte des Prozesses, um die Prozessgrenze erweitern zu können. Dabei werden grundlegende physikalische Einflüsse der Prozessparameter auf die materialspezifische Schmelzbadbildung untersucht. Diese Erkenntnisse werden dafür genutzt, Konzepte neuer Prozessführung zu erstellen, die die Produktivität des Prozesses weiter optimieren.

Additive Fertigung als Bestandteil einer Wertschöpfungskette

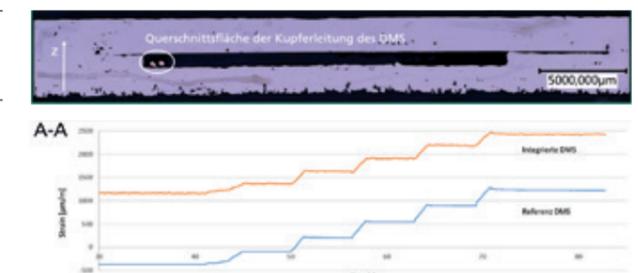
Doch schon längst steht der eigentliche Fertigungsprozess nicht mehr alleine in der Wertschöpfungskette von additiv gefertigten Bauteilen. Die Frage nach der bestmöglichen Eingliederung der additiven Fertigungsprozesse in die gesamte

Wertschöpfungskette nimmt eine zunehmend wichtigere Rolle ein. Neben den Untersuchungen von geeigneten Oberflächenbehandlungsvorgängen erarbeitet das Fraunhofer IAPT Konzepte und Lösungen, wie die Gestaltungsfreiheit der additiven Fertigung genutzt werden kann, um nachgelagerte Prozesse in der Wertschöpfungskette möglichst effizient zu realisieren. So arbeitet das Fraunhofer IAPT im Rahmen eines BMBF-Projekts an einem hybriden Implantat, bestehend aus einem additiv gefertigten Titanbauteil und einem über ein Glaslot verbundenes Keramikteil. Im Fokus liegt hier die Ausgestaltung der Verbindungsfläche sowie ihrer Oberflächenbeschaffenheit, sodass eine an die additive Fertigung anschließende automatisierte Auftragung des Glaslotes erfolgen kann.

Intelligente LBM-Bauteile als Schlüsselemente der Industrie 4.0

Das Laserstrahlschmelzen bietet Ingenieuren neue Möglichkeiten, zusätzliche Funktionalitäten in komplexe Geometrien zu integrieren. So ermöglicht der schichtweise Aufbau im Prozess die Modifikation und Manipulation nahezu jedes Bereichs des Bauteils. Deshalb ist die Integration von Sensoren in das Bauteil während des Herstellungsprozesses möglich. Dieser Ansatz ist von großem industriellen Interesse, da eingebettete Sensoren direkt in den Bereichen eingesetzt werden können, in denen ein Messwert benötigt wird. Intelligente Bauteile können dann ihre eigenen Zustände überwachen und kritische Änderungen können z. B. über statistische Auswertungen erfasst werden. So wird eine vorausschauende Wartung von additiv gefertigten Komponenten möglich. Untersuchungen am Fraunhofer IAPT in Zusammenarbeit mit der Firma MAS Tooling GmbH zeigen, dass

eine solche Überwachung von Bauteilzuständen nach Maßgabe von individuellen Anforderungen der Industrie realisiert werden kann. In Abbildung 1 ist eine Zugprobe mit einem eingebetteten DMS und ihrer Querschnittsfläche dargestellt. Die Position des eingebetteten Sensors ist nur während des Fertigungsprozesses in Positiv-z-Richtung durch Unterbrechung zugänglich. Die elastischen Verformungen, die vom im LBM-Prozess integrierten Dehnungsmessstreifen aufgenommen wurden, weisen eine gute Korrelation mit einem außen aufgetragenen Referenz-DMS auf. Im nächsten Schritt werden die Erkenntnisse auf ein Demonstratorwerkzeug übertragen. Der integrierte Sensor wird in Echtzeit Messdaten an einen Controller weiterleiten und den Anwender mit den Informationen über den Betriebszustand versorgen.



→ **Abbildung 1:** Querschliff der Zugprobe. Unten: gemessene Dehnungen über die Dauer eines Zugversuchs.

KONTAKT

Philipp Kohlwes

+49 40 484010-745

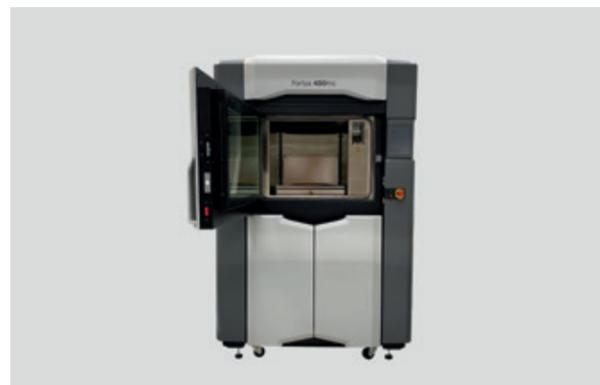
philipp.kohlwes@iapt.fraunhofer.de



POLYMERBASIERTE MATERIALEXTRUSION

Die Materialextrusion mit strangförmigen Kunststofffilamenten ist die am Markt am weitesten verbreitete additive Fertigungstechnologie. Häufig werden hierunter kleinere, sehr günstige Consumer-Geräte zusammengefasst, für deren Verfahrensbezeichnung überwiegend der frei verfügbare Begriff Fused Filament Fabrication (FFF) verwendet wird. Häufiges Einsatzgebiet für FFF-Drucker sind die Prototypenfertigung, die Herstellung von Werkzeugvorrichtungen sowie von Bauteilen, die im Privatgebrauch Anwendung finden. Ein großer Kostenvorteil dieser Geräte besteht in der zum Teil freien Wahl bezüglich der erforderlichen Slicing-Software zur Bauteilvorbereitung sowie der Beschaffung von Ausgangsmaterialien (Filamente) über Drittanbieter. Für die industrielle Fertigung von Funktionsbauteilen fehlt es diesen Anlagensystemen jedoch oftmals an der notwendigen Reproduzierbarkeit der Bauteileigenschaften – insbesondere bei Hochtemperaturkunststoffen –, was mitunter auf das hohe Maß an möglicher Anwenderinteraktion, wie z. B. einer Veränderung der Prozessparameter in der Slicing-Software, zurückzuführen ist. Aus diesem Grund haben sich in Industrien wie der Luft- und Raumfahrt oder dem Schienenfahrzeugbau Produktionssysteme durchgesetzt, die vom Material über Slicing-Software bis hin zum 3D-Drucker vollständig aufeinander abgestimmt sind.

Zur Erschließung neuer Anwendungsgebiete und Erforschung durchgehender digitaler wie physischer Prozessketten für die industrielle Materialextrusion wurde Mitte des Jahres mit der Fortus 450mc der Firma Stratasys ein FDM-Produktionssystem erfolgreich am Fraunhofer IAPT in Betrieb genommen. Ein Forschungsschwerpunkt ist dabei die Optimierung bestehender



→ **Abbildung 1:** FDM-Produktionsanlage Stratasys Fortus 450mc

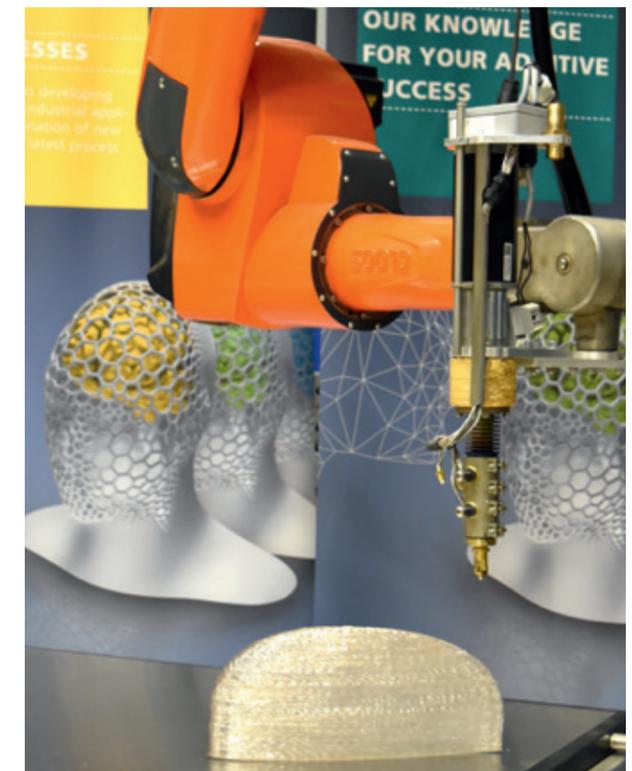
Teilprozessschritte rund um das Produktionssystem. Insbesondere die physische Nachbehandlung in Verbindung mit einer digitalen Vernetzung innerhalb der Gesamtprozesskette wird einen Fokus der Forschungsarbeiten im Gebiet der industriellen Materialextrusion darstellen.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt besteht in der Entwicklung prozessstabiler und robuster Prozesse für die filamentbasierte Materialextrusion in Verbindung mit herkömmlichen Industrierobotern. Dazu wurde zu Beginn des Jahres ein System implementiert, das mittels Schneckenextrusion Aufbauraten bis zu 1 kg/h realisieren kann. Durch die Verwendung von Robotersystemen und Schneckenextrudern mit hohen Förderraten werden sowohl Kosten als auch Zeit in der Herstellung von großvolumigen Bauteilen eingespart. Darüber hinaus ermöglicht diese Technologie mit ihren vielen Freiheitsgraden die Fertigung von komplexen Freiformflächen.

Eines der potenziellen Anwendungsfelder ist der maritime Sektor. So hat das Fraunhofer IAPT im vergangenen Jahr Prozessparameter entwickelt, um einen Demonstrator eines propulsionsverbessernden Bauteils für die Schifffahrt herzustellen. Durch dieses additive Herstellungsverfahren können individualisierte Bauteile mit komplexen Freiformflächen produziert werden, um somit den Antriebsleistungsbedarf eines Schiffes potenziell zu verringern und Treibstoff einzusparen.

Die aktuellen Herausforderungen dieser Technologie bestehen darin, den Extrusionsprozess zu stabilisieren, Prozessfehler zu eliminieren und die Qualität wirtschaftlich zu sichern. Mit konventionellen nachgelagerten Prüfmethode zur Maßhaltigkeitsprüfung und Fehlerdetektion ist ein hoher Zeit- und Kostenaufwand einzuplanen. Insbesondere bei individualisierten Produkten ist eine Automatisierung der Qualitätssicherung derzeit nicht wirtschaftlich realisierbar.

Zukünftige Forschungsvorhaben am Fraunhofer IAPT beschäftigen sich mit der Lösung dieser Problematik. Ein wesentlicher Bestandteil dabei ist die digitalisierte Onlinequalitätskontrolle. Dazu wird ein Sensorsystem entwickelt, mit dem die geometrischen Daten des Bauteils während des Prozesses richtungsunabhängig erfasst werden. Anhand dieser Datensätze werden dem Anwender Informationen zur Prozess- und zur Bauteilqualität zur Verfügung gestellt. Durch eine gezielte Nachregelung können so Prozessfehler schichtweise korrigiert werden. Mit diesem Sensorsystem wird der Prozess stabilisiert und es sind weniger Prozessabbrüche zu erwarten.



→ **Abbildung 2:** Roboterbasierte Schneckenextrusion

KONTAKT

Lennart Waalkes

☎ +49 40 484010-762

✉ lennart.waalkes@iapt.fraunhofer.de



SLS-QUENCHBOX – AKTIVE KÜHLUNG IM SLS-BAUCONTAINER

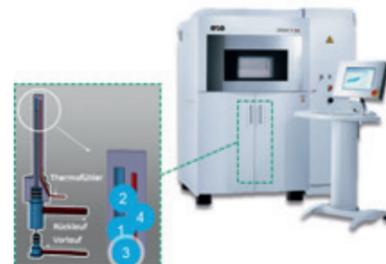
Das Selektive Lasersintern (SLS) ist eines der additiven Fertigungsverfahren, die zur Herstellung von industrierelevanten Prototypen und Kleinserienbauteilen die weiteste Verbreitung aufweisen. Das pulverbettbasierte Verfahren lässt die Herstellung von Bauteilen mit dem höchsten Grad an Designfreiheit aus thermoplastischen Kunststoffen zu. Weltweit werden damit jährlich Kunststoffpulver im Wert von ca. 290 Mio € verarbeitet. Allein der Hersteller EOS hat weltweit ca. 1000 SLS-Anlagen im Einsatz.

Eine Schwachstelle des Verfahrens ist die Alterung des Pulvers unter Prozessbedingungen. Dadurch entsteht eine Überschussproduktion an Altpulver, die schätzungsweise einen Pulverabfall von 30 Prozent pro Baujob ausmacht. Zudem ist die Bauteilverfügbarkeit im Vergleich zu anderen Verfahren aufgrund des zeitintensiven Abkühlvorgangs des Pulverkuchens nicht unter drei Tagen gegeben und damit recht hoch.

Im ZIM-Kooperationsprojekt »Homogenes Abkühlen« (FKZ: 16KN073020) wird in Kooperation mit der Stemke Cooling Systems GmbH das aktive Kühlen des Pulverkuchens im SLS-Prozess mittels Kühllanzens untersucht. Darüber hinaus wird die SLS-Quenchbox als Prototyp eines praxistypischen Baucontainers mit integrierten Kühllanzens realisiert und dient als Vorläufer eines serientauglichen Produktes am Markt.

Die Wirkweise des Kühlprinzips wurde am Fraunhofer IAPT bereits erfolgreich mit einer experimentellen Kühllanze erprobt. Es zeigt sich, dass das Kühlprinzip wirksam ist, keine nachteiligen Einflüsse auf die Materialeigenschaften auftreten und der Bauteilverzug nur marginal durch das aktive Kühlen beeinflusst wird. Kann die Auffrischrate eines SLS-Pulvers von 40 auf 20 Prozent

reduziert werden, kann der flächendeckende Einsatz der SLS-Quenchbox eine Einsparung an Materialkosten von 145 Mio € weltweit bedeuten. Zudem trägt die Reduktion des Pulverabfalls um zwei Drittel wesentlich zur Nachhaltigkeit des Prozesses und der AM-Technologie im Allgemeinen bei. Die Bauteilverfügbarkeit könnte von drei auf zwei Tage ab Beginn der Fertigung verkürzt werden.



→ **Abbildung 1:** Kühlprinzip: Temperaturgeregelte Kühllanzens im Baucontainer einer kommerziellen EOS P390 lassen den Pulverkuchen schnell abkühlen (EOS)

KONTAKT

Lennart Waalkes

+49 40 484010-762

lennart.waalkes@iapt.fraunhofer.de



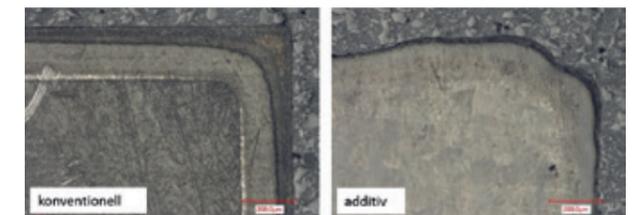
AUFWERTUNG ADDITIV GEFERTIGTER STAHLTEILE DURCH RANDSCHICHT- UND WÄRMEBEHANDLUNG

Im Projekt AddRand wird die Aufwertung additiv gefertigter Stahlbauteile durch eine effektive Randschicht- und Wärmebehandlung realisiert. Angesprochen werden v. a. Hersteller von Werkzeugen, Maschinenkomponenten und Ersatzteilen mit komplexen Geometrien in Einzel- und Kleinserienfertigung sowie die damit verbundenen Unternehmen der Wärmebehandlung und Randschichthärtung.

Voruntersuchungen haben gezeigt, dass etablierte Verfahren zur Randschichthärtung, wie z. B. das Nitrieren, schlechtere Ergebnisse bei Laserstrahlschmelzbauteilen gegenüber konventionellen Prozessrouten aufweisen (siehe Abbildung 2). Es wurde deutlich, dass die Dicke der Randschicht bei additiv gefertigten Bauteilen deutlich reduziert und nicht so ausgeprägt ist (dunkle Färbung). Hauptziel im Projekt ist, die Verschleißbeständigkeit bei gleichzeitiger Reduktion der Eigenspannungen zu erhöhen. Es wird die gesamte Prozesskette der Bauteilfertigung berücksichtigt und angepasst, um die Randschichthärtung um > 50 Prozent zu erhöhen und eine Reduzierung der Prozesszeit für die Wärmebehandlung und der Nitrierprozesse um 20 Prozent zu erreichen. Durch die verbesserten Eigenschaften können additiv gefertigte Bauteile perspektivisch auch für höher belastete Anwendungen eingesetzt werden. Darüber hinaus soll das Kosteneinsparungspotenzial durch eine signifikante Verkürzung der Prozessroute aufgezeigt werden.

Im Projekt werden zunächst Prozessparameter für den Laserstrahlschmelzprozess entwickelt. Das langjährige Know-how des Fraunhofer IAPT im Bereich der Prozessentwicklung sorgte im Projekt dafür, dass in kurzer Zeit gute Prozessparameter entwickelt und dem Projektpartner die Prüfkörper für die Nitrierprozesse bereitgestellt werden können. Der Projektpartner (Fraunhofer IST) verfügt über langjähriges Know-how im Bereich

der Oberflächennachbehandlung und kann dadurch schnell und gezielt die Parameteranpassungen für den jeweiligen Werkstoff vornehmen. Im Projekt wird die Prozessierung und anschließende Oberflächennachbehandlung der additiv gefertigten Bauteile anhand eines gebräuchlichen martensitaushärtenden Stahls (1.2709), eines Warmarbeitsstahls (1.2343) und eines Nitrierstahls (1.8550) untersucht. Alle Stähle ließen sich gut im Laserstrahlschmelzprozess verarbeiten, wobei das Kernziel in der Identifikation geeigneter Parameter hinsichtlich hoher Dichte bei gleichzeitig hoher Aufbaurate lag. Beide Ziele konnten erfüllt werden, sodass das Fraunhofer IAPT sein Materialportfolio vergrößert hat und nun in der Lage ist, seinen Kunden die Verarbeitung weiterer Legierungen anzubieten. Im nächsten Schritt untersucht das Fraunhofer IST verschiedene Nitrierprozesse anhand der generierten Bauteile, wobei neben der Erreichung der gesetzten mechanischen Zielwerte auch die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit im Vordergrund steht.



→ **Abbildung 2:** Ergebnisse der Vorversuche ohne gezielte Anpassungen der Nitrierprozesse

KONTAKT

Philipp Kohlwes

+49 40 484010-745

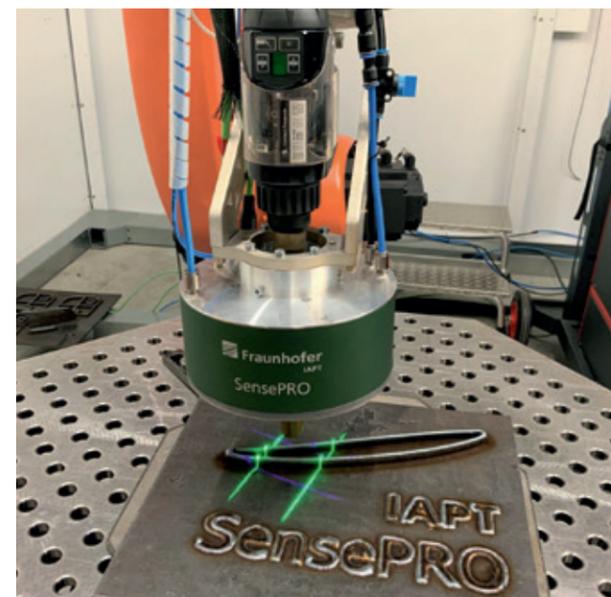
philipp.kohlwes@iapt.fraunhofer.de



SENSEPRO – SENSORIK FÜR AUFTRAGSCHWEISSEN

SENSEPRO-SENSORIK ZUR IN-PROZESS-QUALITÄTSSICHERUNG BEIM AUFTRAGSCHWEISSEN

Auftragschweißverfahren wird ausgehend von ihren hohen Aufbauraten großes Potenzial für die additive Fertigung zugesprochen. Zu dieser Gruppe der Directed-Energy-Deposition-Technologien (DED) gehören u. a. Laser- und Lichtbogenauftragschweißverfahren, deren erfolgreiche Industrialisierung aktuell jedoch noch durch instabile Prozesse und fehlende Qualitätssicherung ausgebremst wird. Der Rückgriff auf klassische Automatisierungstechnik bietet dabei nur geringe Linderung.



→ **Abbildung 1:** SensePRO an Auftragschweißoptik

Aus diesem Grund wurde am Fraunhofer IAPT im Rahmen eines Exist-Forschungstransferprojekts das modulare richtungsunabhängige Sensorsystem SensePRO für Auftragschweißverfahren entwickelt. Auf Basis des Triangulationsprinzips ermöglicht es eine schichtweise geometrische digitale Abbildung

der aufgetragenen Strukturen. Mithilfe dieser kontinuierlichen Bauteildigitalisierung erhält der Anwender erstmalig ohne weiteren Prozessschritt geometrische Einblicke in ihre Bauteile. Dadurch wird es möglich, Fehler im Bereich der Schichtdicke oder der Schichtlage während des Prozesses zu detektieren und durch die integrierte DED-Regelung den Prozess zu stabilisieren. Im Vergleich zu konventionellen, richtungsabhängigen Triangulationssensoren erhält das SensePRO-System durch seinen richtungsunabhängigen 360°-Laser-Vorhang, der eine Rundumsicht des Sensors ermöglicht, die Beweglichkeitsflexibilität des Prozesses und verhindert kostenintensive Totzeiten für separate Scanvorgänge.

Selbst raue Prozessbedingungen, die beim Auftragschweißen auftreten, können SensePRO nichts anhaben. Durch sein integriertes, additiv gefertigtes Kühl-Design bietet er auch bei diesen Bedingungen ein kalibriertes Genauigkeitsniveau. Dadurch konnte das Sensorsystem auch in den umfangreichen Erprobungen unter Prozessbedingungen seine Stärken präsentieren. Dies legte den Grundstein für den produktiven Einsatz im Hochtemperatur-Lichtbogenauftragschweißprozess.

Der Sensor lässt sich kundenspezifisch in verschiedene kommerzielle Anlagen integrieren und für verschiedene Schweißprozesse einsetzen.

KONTAKT

Malte Buhr

+49 40 484010-628

malte.buhr@iapt.fraunhofer.de



SENSELIGHT

OPTISCHE IN-PROZESS-SENSORIK FÜR DAS LICHTBOGENAUFTRAGSCHWEISSEN



→ **Abbildung 1:** SenseLight-basierte In-situ-Schmelzbadüberwachung mit detektierter Ellipsenkontur

Funktionale und optimierte Bauteilkonturen lassen sich 2020 nicht nur mit den etablierten additiven Pulverbettverfahren herstellen, sondern auch mit auftragenden Prozessen realisieren. Eines dieser Verfahren, das Lichtbogenauftragschweißen (WAAM), bedient sich des simplen Prinzips des Lichtbogen-schweißprozesses – ein über die Spannung generierter Lichtbogen wird zum Aufschmelzen eines drahtförmigen Ausgangsmaterials verwendet. Mit diesem Prinzip wird schichtweise und mit hohen Auftragsraten eine metallische Nahkontur (Near-Net-Shape) in kürzester Zeit erzeugt. Dadurch gewinnt der WAAM-Prozess über unterschiedliche Industriezweige immer mehr an Relevanz.

Ausgebremst wird diese Entwicklung durch prozessbedingte Instabilitäten, insbesondere beim dreidimensionalen Einsatz zur Bauteilherstellung aufgrund von komplexen Temperaturzusammenhängen sowie bereits leichten Schwankungen in den Parametern (z. B. Schutzgaszufuhr oder Arbeitsabstand des Drahts zur Werkstückoberfläche). Diese Schwankungen sind

während des Prozesses in zwei zentralen Merkmalen ausgeprägt – der Diskontinuität der Schmelzbadgeometrie und der Schwankung der Schmelzbadtemperatur. Derzeit gibt es auf dem Markt noch keine etablierten Prozessüberwachungslösungen, die diese Instabilitäten erkennen und ein Gegensteuern ermöglichen.

Das Fraunhofer IAPT hat hierfür die Sensorik »SenseLight« entwickelt. Das Sensorsystem bietet eine richtungsunabhängige Auswertung des Schmelzbadens, eine kompakte Ausführung sowie den Einsatz von kostengünstigen elektronischen Komponenten für ein wirtschaftliches Gesamtsystem. Zur Detektion des Schmelzbadens setzt SenseLight auf die explizite Beleuchtung der Schmelze und das anschließende Herausfiltern der übrigen Prozessemissionen sowie die Darstellung der Schmelze mit einer Flächenkamera. Das zusätzliche Detektionsvermögen von relativen Temperaturschwankungen im Schmelzbad auf Basis optischer Signale ermöglicht die Rundum-Echtzeitüberwachung der Stabilität des WAAM-Prozesses. Eine weitere Besonderheit von SenseLight ist die Möglichkeit der Einkopplung in optische Strahlengänge und damit die Überwachung des Schmelzbadens auch in einem laserbasierten Verfahren. Damit ist nicht nur der Einsatz in einem WAAM-Prozess, sondern auch in artgleichen und verwandten Schweiß- und Auftragsprozessen möglich.

KONTAKT

Malte Buhr

+49 40 484010-628

malte.buhr@iapt.fraunhofer.de





ORTSUNABHÄNGIGE ERSATZTEILPRODUKTION UND REPARATUR DURCH MOBILE AM-CONTAINERLÖSUNG

Bei einer zuverlässigen und schnellen Ersatzteilversorgung spielen additive Fertigungsverfahren (engl. Additive Manufacturing, AM) eine entscheidende Rolle. Ersatzteile können ohne gesonderte Werkzeug- oder Lagerhaltungskosten direkt und nach Bedarf mit AM gefertigt werden. Das Konzept der Additive Mobile Factory (AMF) geht noch einen Schritt weiter und ermöglicht als containerbasierte Fertigungseinheit die dezentrale und resiliente Ersatzteilversorgung und Bauteilreparatur. Somit kann der Ersatzteilbedarf auch an abgelegenen und schwer zugänglichen Orten auf Abruf gedeckt werden. Mit diesem Ansatz werden kostenintensive Stillstandszeiten auf ein Minimum reduziert, losgelöst von langen Produktions- und Lieferketten.

Den Kern der Additive Mobile Factory bildet eine additive Produktionstechnologie zum Aufbau von endkonturnahen Bauteilgeometrien. Um aber nicht nur Rohlinge zu fertigen, sind nachfolgende Bearbeitungsschritte integriert, die das Bauteil automatisiert auf Endmaß bringen sowie die gewünschte Funktionalität ermöglichen. Die Integration der gesamten physischen und digitalen Prozesskette in einem platzsparenden und standardisierten Frachtcontainer ermöglicht den einfachen und ortsunabhängigen Betrieb: Plug-and-play. Aus der Sicht der mobilen additiven Fertigung haben besonders drahtbasierte Auftragschweißverfahren ein hohes Potenzial. Draht als Grundmaterial ist gegenüber Pulver günstiger verfügbar und die Handhabung ist sicher für den Bediener und die Umwelt. Sowohl eine vollständige Ersatzteilerzeugung als auch eine mobile Reparatur von bestehenden Bauteilen ist somit realisierbar. In Kombination mit einer roboterbasierten Handhabung entsteht eine flexible, robuste und kostengünstige Systemlösung. Durch die Verknüpfung mit der vom Fraunhofer IAPT entwickelten Softwarelösung DED Process Manager lässt

sich der Container ohne Expertenwissen bedienen und ermöglicht dadurch einen zuverlässigen Einsatz vor Ort. Die in der Abbildung dargestellte Kompaktversion der AMF zeigt eine automatisierte hybride Prozesskette auf kleinstem Raum in einem Zehn-Fuß-Seecontainer. Ein Roboter dient zur Handhabung des Bauteils, sodass alle Prozessschritte an den jeweils festen Bearbeitungsstationen durchgeführt werden. So können v. a. kleine bis mittelgroße Bauteile aus Stahl oder Aluminium flexibel repariert oder gefertigt werden. Die für den Prozess benötigte Peripherie und Steuerungstechnik befindet sich außerhalb der Fertigungszelle in einer separaten Versorgungseinheit und dient zur Demonstration des modularen Konzepts. Je nach Anwendung werden somit genormte 10-, 20- oder 40-Fuß-Container mit der Prozesskette individuell ausgestattet.

Das gezeigte Konzept ist modular ausgerichtet und ermöglicht die kundenindividuelle Konfiguration. Aufbauend auf den gezeigten Ergebnissen sowie den Potenzialen der integrierten hybriden Prozesskette kann somit gezielt auf unterschiedliche Anwendungsfälle und Herausforderungen eingegangen werden. In enger Kooperation mit Partnern aus der Industrie ermöglicht die AMF damit den Aufbau von neuen und innovativen Lösungen für die Ersatzteilerzeugung und Bauteilreparatur vor Ort und auf Abruf.

KONTAKT

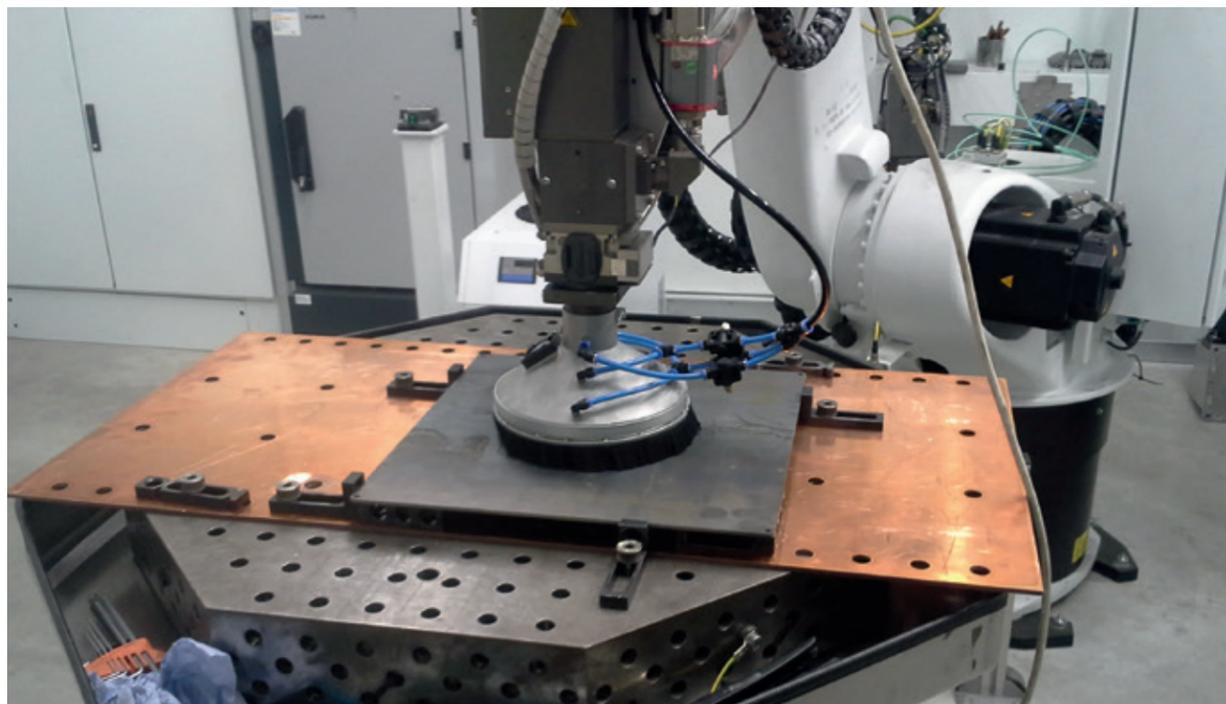
Markus Heilemann

+49 40 484010-627

markus.heilemann@iapt.fraunhofer.de



LASERSTRAHLFÜGEN VON 3D-GEDRUCKTEN TITANBAUTEILEN – OXIDATIONSFREI UND LUFTFAHRTGERECHT

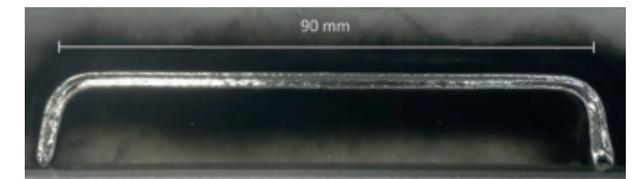


→ **Abbildung 1:** Schutzgasglocke an Standard-Laserschweißoptik

In dem Projekt REGIS (Realisierung additiv gefertigter Integralstrukturen) werden gemeinsam mit den Verbundpartnern Airbus, Gefertec, bias, Premium Aerotec, IWT sowie der TUHH Prozessabläufe für großvolumige 3D-gedruckte Strukturbau- teile aus Ti-6Al-4V für die Luft- und Raumfahrt entwickelt. Bedingt durch die limitierten Bauraumgrößen marktüblicher 3D-Drucker können große Strukturen nicht als Ganzes gedruckt werden. Deshalb werden in diesem Projekt Teilgeometrien mit dem Directed-Energy-Deposition-Verfahren (DED-Verfahren)

des Lichtbogen-Draht-Auftragschweißens in einer Schutzgas- kammer hergestellt und anschließend durch Laserstrahlschweißen zu einer finalen Großstruktur (ca. 2,5 x 1,5 x 0,4 Meter) zum Einsatz im Flugzeugbau verbunden. Nach der spanenden Bear- beitung werden dann insgesamt ca. 28 Einzelteile durch Laser- schweißen zu einer Großstruktur verbunden.

Das Schweißen von Titan stellt dabei unabhängig vom Schweiß- verfahren hohe Anforderungen an die Schutzgasabdeckung



→ **Abbildung 2:** Draufsicht auf eine Schweißnaht in Ti64 mit ungenügender Schutzgasabdeckung (links) und mit lokaler Schutzgasabdeckung (rechts)

der Fügezone, sodass üblicherweise in kostspieligen Schutz- gaskammern gearbeitet werden muss. Bedingt durch die beschriebene Bauteilgröße kommt diese Technik aber aus wirt- schaftlichen Gründen (z. B. Schutzgasvolumen) nur bedingt infrage. Daher wurde am Fraunhofer IAPT eine lokal wirkende Schutzgasglocke entwickelt, die an eine Standardschweiß- optik angebracht werden kann. Dieses System erlaubt es, vollkommen anlauffarbenfreie und luftfahrtzugelassene Laser- schweißverbindungen an Titanbauteilen unter einer lokalen Schutzgasatmosphäre herzustellen. Im Unterschied zu bereits bekannten und erprobten Schleppdüsen, die nur für eine Schweißrichtung ausgelegt sind, erlaubt diese Schutzgasglocke einen vollkommen richtungsunabhängigen und damit produktiveren Betrieb zur Herstellung von Schweißungen an ebenen Bauteilen.

Im Hinblick auf die geplante Anwendung wurden Verbindungen zwischen gedruckten Bauteilen aus Ti-6Al-4V, aber auch Hybrid- verbindungen zwischen gedrucktem und konventionellem Material untersucht. Durch Mikrohärtemessungen im Quer- schliff der Schweißnähte wurde nachgewiesen, dass in der Schweißnaht im Vergleich zum umgebenden Grundmaterial keine Aufhärtung in der Schmelzzone erfolgt ist. Anhand von Zugversuchen wurde darüber hinaus nachgewiesen, dass

die mit Beteiligung eines gedruckten Fügepartners hergestell- ten Schweißverbindungen bzgl. ihrer Festigkeit und Bruch- dehnung mit Schweißungen an konventionellem Material ver- gleichbar sind. Damit sind die Grundlagen für die Fertigung einer komplexen Integralstruktur geschaffen, bestehend aus gedruckten Elementen, die dort, wo es technisch sinnvoll ist, mit Standardhalbzeugen (Bleche, Winkel, Rohre) zu einer Gesamtstruktur verschweißt werden.

Für das geplante Demonstratorbauteil, die innen liegende Ver- stärkung der Flugzeugaußenhaut im Bereich der beiden Not- ausstiegsöffnungen, lassen erste Kostenabschätzungen eine Reduzierung der Herstellkosten um ca. 50 Prozent erwarten. Erreicht wird dies durch einen ressourcenschonenden Material- einatz des Rohmaterials (endkonturnaher DED-Druckprozess und damit eine deutliche Reduzierung des Titanerspanungs- volumens) und die Verwendung von Standardhalbzeugen.

KONTAKT

Markus Heilemann

+49 40 484010-627

markus.heilemann@iapt.fraunhofer.de



KOMPAKTES LASERDRAHTAUFTRAGSCHWEISSYSTEM ZUR MOBILEN REPARATUR GROSSER WERKSTÜCKE

Guss- und Umformwerkzeuge stellen die Basis für die hochproduktive Metall- und Kunststoffbauteilfertigung im Sekundärbereich dar. Durch Materialermüdung und Fehlnutzung kommt es im harten Einsatz langfristig zu Defekten in diesen Werkzeugen, die eine aufwendige und teure Reparatur erfordern. Diese Reparatur findet aktuell entweder händisch mit dem WIG-Lichtbogenschweißverfahren oder mit großem Aufwand in gesonderten Bearbeitungsstationen statt. Da hierfür die aufwendige Demontage erforderlich ist und das händische Schweißverfahren durch den hohen lokalen Wärmeeintrag zur Bauteilbeschädigung führt, besteht dringender Bedarf nach einem effizienten Reparaturprozess. Das Fraunhofer IAPT hat sich mit dem Partner LMB Automation GmbH zum Ziel gesetzt, diese Reparatur mithilfe eines mobilen Laserdrahtauftragschweißsystems direkt vor Ort zu ermöglichen.

Das Laserdrahtauftragschweißverfahren eröffnet die Möglichkeit der automatisierten und reproduzierbaren Reparatur. Das aufzutragende Material wird dabei in Drahtform dem Prozess zugeführt und direkt an der Fehlstelle aufgeschmolzen. Da das Verfahren üblicherweise in fest installierten Anlagen erfolgt, müssen die Werkzeuge zur Reparatur erst ausgebaut, transportiert und zentral repariert werden. Wegen der komplexen Handhabung der Werkzeugformen und der längeren Stillstandszeiten kann somit das Einsparungspotenzial des Reparaturprozesses derzeit nicht vollumfänglich ausgenutzt werden.

Um diesen Herausforderungen wirtschaftlich und nachhaltig entgegenzuwirken, wird eine flexible und mobile Bearbeitungseinheit entwickelt, die einen Vor-Ort-Reparaturprozess direkt am Werkzeug ermöglicht. Im Gegensatz zu den am Markt erhältlichen Auftragschweißsystemen wird besonderer Fokus auf die Kompaktheit und Mobilität des Systems gelegt.

Durch eine neuartige kardanische Aufhängung der Bearbeitungsoptik mit automatischer Nivellierung ist kein Ausbau des schadhaften Werkzeugs mehr notwendig und die Stillstandszeit der Maschinen wird minimiert.

Die Steuerung des neu entwickelten siebenachsigen Bearbeitungssystems setzt auf dem Robot Operating System (ROS) auf. Durch ein integriertes Stereokamerasystem ist die dreidimensionale Beobachtung der Prozesszone möglich. Die Verknüpfung zu einer 3D-Datenbrille bietet dem Nutzer dabei die Prozessbeobachtung in sicherem Abstand bei maximaler Ergonomie. Die intuitive Mensch-Maschine-Schnittstelle ermöglicht dadurch sowohl eine manuelle als auch eine halbautomatisierte Steuerung des Laser-Draht-Prozesses. Das System ist auf eine mittelfristige Überführung zu einer 5G-Remote-Bearbeitung ausgelegt. Dadurch können Reisekosten eingespart und die Reparaturen preiswerter angeboten werden.

Gefördert vom

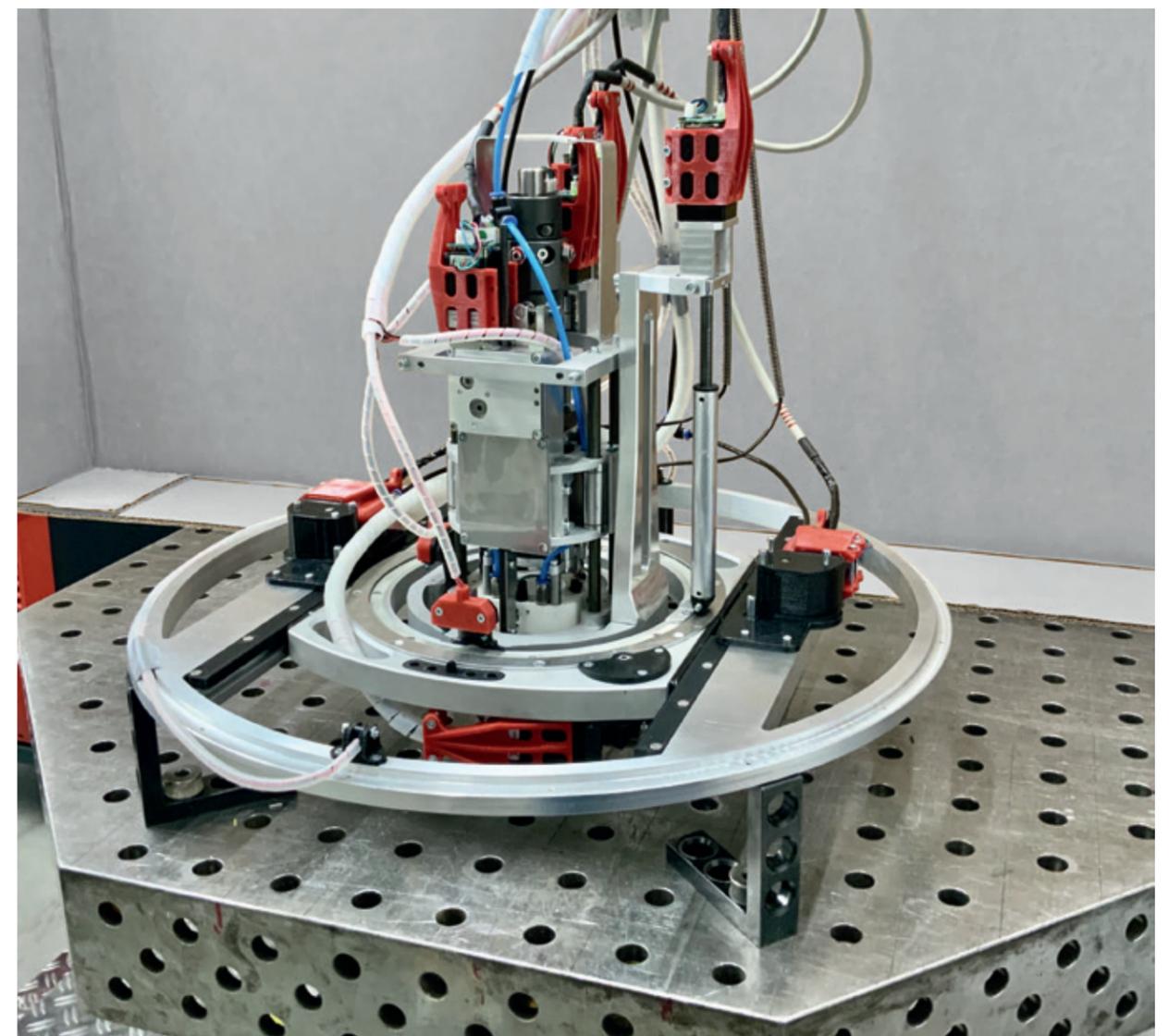


KONTAKT

Malte Buhr

+49 40 484010-628

malte.buhr@iapt.fraunhofer.de



→ **Abbildung 1:** Flexibles Laserdrahtauftragschweißsystem im aktuellen Entwicklungsstatus als mobile Fünfachs-Bearbeitungseinheit



VERÖFFENTLICHUNGEN UND LEHRE

- 72 Unsere Studien im Überblick
- 78 Zertifikatskurse und E-Learnings aus der Academy
- 80 Lehre am Fraunhofer IAPT
- 82 Impressum

STUDIEN ZUR NACHARBEIT ADDITIV GEFERTIGTER BAUTEILE

Nacharbeit als Schlüssel zur erfolgreichen additiven Produktion

»Complexity for free« – dieses Versprechen der additiven Produktion stellt für die Nacharbeit von AM-Bauteilen eine der größten Herausforderungen dar. Dies gilt erst recht, da die Oberflächenbearbeitung, ebenso wie der Fertigungsprozess selbst, einen signifikanten Einfluss auf die Qualität des Fertigteils hat. Nur wer die Vor- und Nachteile der zahlreichen Bearbeitungsverfahren hinsichtlich der Anwendung auf AM-Bauteile kennt, kann diese auch gezielt einsetzen und schon beim Bauteildesign berücksichtigen. Hierbei spielen nicht nur die erreichbaren Oberflächenqualitäten oder die Wirtschaftlichkeit, sondern auch die Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften eine entscheidende Rolle. In mehreren Studien untersucht das Fraunhofer IAPT daher speziell die Nachbearbeitung von komplexen AM-Bauteilen und stellt anwendungsnahe Entscheidungshilfen zur Verfügung, um die Industrialisierung der additiven Produktion weiter voranzutreiben.

Herausforderungen bei der Nacharbeit additiv gefertigter Bauteile

Anders als in der konventionellen Fertigung stellen im Generierprozess der additiven Fertigung Hinterschneidungen oder interne Kanalverläufe weniger ein Problem dar und limitieren das Bauteildesign in der Regel nicht oder nur unwesentlich. Um diese Vorteile jedoch auch umsetzen zu können, müssen weitere technische Hürden bewältigt werden. So bestehen oftmals hohe Anforderungen an die Oberflächengüte der Bauteile, um bspw. auch im dauerhaftesten Bereich bestehen zu können. Dabei gilt: je komplexer die Bauteile, desto größer auch der Anspruch an

die folgenden Nachbearbeitungsschritte. So können abtragende Medien teils nur bedingt den komplexen Verläufen der AM-Designs folgen und es müssen die richtigen Verfahren für eine effiziente und erfolgreiche Oberflächenverbesserung gewählt werden. Neben den Herausforderungen bei der Erreichbarkeit und Flexibilität der Nacharbeit ist herauszustellen, dass AM-Bauteile oftmals eine stark heterogene Oberflächenqualität im As-built-Zustand aufweisen. Abhängigkeiten von Treppenstufeneffekten, lokalen, geometrieabhängigen Wärmeverteilungen und -ableitungen sowie der Einsatz von Stützstrukturen führen zu einer Vielzahl an unterschiedlichen Oberflächenzuständen nach dem Druckprozess. Um die Bauteile optimal zu glätten oder von Stützstrukturen zu befreien, muss also individuell und bauteilspezifisch eine Nacharbeitslösung, die auch aus einer Kombination mehrerer Verfahren bestehen kann, gefunden werden.

Die Fraunhofer IAPT-Lösung zur Auswahl passender Nacharbeitsverfahren für AM-Bauteile

Doch welche technischen Möglichkeiten bietet der Markt derzeit und welche Kosten verbergen sich hinter den einzelnen Verfahren? Diese Fragen hat das Fraunhofer IAPT nun in einer unabhängigen und umfassenden Studie zum Thema Oberflächenglättung von AM-Bauteilen beantwortet. Die **Surface Benchmark Study** untersucht acht verschiedene marktrelevante Verfahren auf deren Eignung zur Nacharbeit für AM-spezifische Herausforderungen. Teil der Untersuchungen waren das chemische und elektrochemische Polieren, abrasives und verdichtendes Strahlen, das Vibrationsgleitschleifen sowie die Sonderverfahren isotropes Superfinishing, Metal DryLyte und der Micro Machining Process. Um werkstoffspezifische Unterschiede ermitteln zu können, wurden die etablierten



→ **Abbildung 1:** Probekörper für die Surface Benchmark Study

Legierungen Ti64, AlSi10Mg und 1.4404 (316L) gewählt. Für einen aussagekräftigen Vergleich der Stärken und Schwächen der verschiedenen Nachbearbeitungsverfahren wurden neben der Oberflächenrauheit auch die Eindringtiefe, die Kantenverrundung, die Abtragrate, die Härte, die Lesbarkeit von Markierungen sowie die Nacharbeitskosten eingehend untersucht.

Eigens für die Studie wurden drei unterschiedliche Demonstratoren mit einer Vielzahl geometrischer Funktionen entwickelt, anhand derer die Ergebnisse der Nacharbeit quantifiziert wurden. Insgesamt wurden so über 100 Bauteile gedruckt und analysiert, ca. 17 000 Segmentmessungen und über 700 Messstunden geleistet und in einem 120-seitigen Report final abge-

bildet. Die **Surface Benchmark Study** zeichnet ein detailliertes Bild über die derzeitigen Möglichkeiten der Nacharbeit in der additiven Fertigung und ist am Fraunhofer IAPT sowohl in gedruckter Form als auch digital erhältlich.

Welche Fragen sind ungelöst?

Das Fraunhofer IAPT setzt sich zum Ziel, noch bestehende Fragen in der Zukunft fundiert beantworten zu können. So ist derzeit noch ungewiss, welche Einflüsse die Nacharbeitsverfahren auf die mechanischen Eigenschaften, speziell die Dauerfestigkeit, haben, welche Verfahrenskombinationen einen wirtschaftlichen Vorteil bei gleichbleibender Qualität erreichen



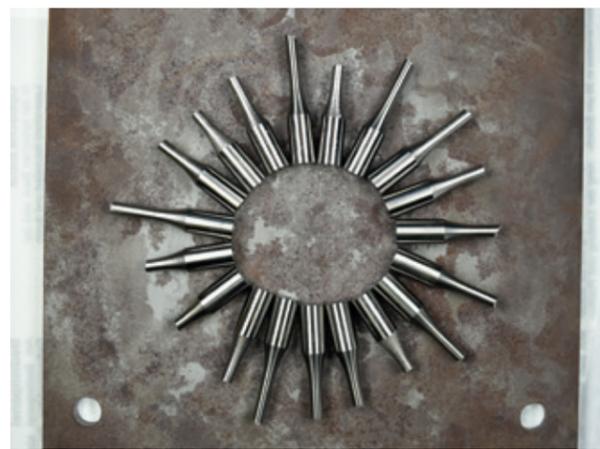
können oder wie ein nacharbeitgerechtes AM-Bauteildesign aussehen kann. Derzeit wird diesbezüglich schon an einer weiteren Studie, der **Additive Fatigue Study**, gearbeitet. Hier werden, wie auch in der Vorgängerstudie, systematisch Nacharbeitsverfahren untersucht und speziell auf ihren Einfluss auf das Dauerfestigkeitsverhalten geprüft. Zum Einsatz kommen die Materialien Ti64 und Inconel 718 sowie acht verschiedene Nacharbeitszustände. Auch eine Verfahrenskombination ist diesmal Teil der Untersuchungen. Des Weiteren möchte sich das Fraunhofer IAPT in zukünftigen Projekten auf die Realisierung von durchgehenden Prozessketten unter den Gesichtspunkten einer effizienten und digitalisierten Nacharbeit fokussieren. Angefangen beim Bauteildesign über die Erstellung und Fertigung von nachbearbeitungsgerechten Bauteilen und Stützstrukturen bis hin zu automatisierten Lösungen über die gesamte Prozesskette sollen alle Aspekte langfristig optimiert, zur marktreifen Anwendung gebracht und in entsprechenden Projekten am Fraunhofer IAPT umgesetzt werden. Wenn Sie Interesse an den vorgestellten Inhalten haben, wenden Sie sich bitte an unser **Surface-Finish-Team** (surface.finishing@iapt.fraunhofer.de).



→ **Abbildung 2:** Je nach Anforderung gilt es das passende Nachbearbeitungsverfahren für AM-Bauteile zu finden – ebenso wie der Druckprozess selbst hat die Oberflächennachbearbeitung einen erheblichen Einfluss auf die Qualität des Fertigteils



→ **Abbildung 3:** Additiv gefertigte und nachbearbeitete Proben für die Additive Fatigue Study



→ **Abbildung 4:** Proben der Additive Fatigue Study nach Prüfung

PROCESS MONITORING – THE FUTURE OF QUALITY ASSURANCE

Das Prozessmonitoring ist das Schlüsselement für AM-Bauteile, nicht nur, um den Prozess zu validieren, sondern auch, um den Bedarf der nachgelagerten Qualitätskontrolle zu minimieren.

Derzeit ist in stark regulierten Branchen wie der Luft- und Raumfahrt sowie der Medizin die Durchführung von Röntgeninspektionen für kritische Komponenten üblich, um sicherzustellen, dass die Komponenten fehlerfrei sind. Diese Praxis behindert jedoch die breitere Anwendung der AM-Technologie aufgrund der anfallenden Kosten und der längeren Produktionszyklen. Die In-situ-Qualitätskontrolle, auch bekannt als In-situ-Prozessmonitoring (IPM), verspricht eine einzigartige Lösung für die Qualitätssicherung (QS) von AM-Bauteilen.

»Für die weitverbreitete industrielle Anwendung von AM-Bauteilen ist die Qualitätssicherung definitiv der ausschlaggebende Faktor. Gegenwärtig sind die Methoden der nachgelagerten Qualitätssicherung eher zeitaufwendig, teuer oder beides«, sagt Peter Lindecke, Leiter der Fachgruppe Qualitätssicherung und Zertifizierung am Fraunhofer IAPT. »Das Prozessmonitoring konzentriert sich nicht nur auf die Erhöhung des Vertrauens in die Bauteilqualität, sondern zielt letztendlich darauf ab, Methoden der nachgelagerten Qualitätskontrolle wie μ CT- und 3D-Messungen zu minimieren.« Diese sogenannten »Born-qualified-Bauteile« sind das Ziel der IPM-Systeme in den kommenden Jahren.

Implementierung des Prozessmonitorings

Gegenwärtig gibt es im Wesentlichen zwei Möglichkeiten, das Prozessmonitoring in einem Produktionsszenario anzuwenden:

die sogenannte prozesssignaturbasierte und die anomalieerkennungsbasierte Methode.

Bauteil-/Prozesssignatur

Diese Methode konzentriert sich auf den Aspekt der Wiederholbarkeit des Prozesses. Während der Herstellung produzieren die Bauteile Emissionen, die gesammelt und analysiert werden können. Je nach Geometrie, Temperatur und Materialeigenschaften erzeugt jedes Bauteil einzigartige Emissionswerte, die als Bauteilsignatur bezeichnet werden. Eine Abweichung dieser Werte weist auf eine Änderung der Bauteileigenschaften und damit auf die Möglichkeit einer Anomalie hin.

Die statistische Prozesskontrolle (SPC) ist implementiert, um diese Abweichungen zu identifizieren und dem Benutzer zu melden. Mehrere Druckaufträge sind erforderlich, um die Grundwahrheit (engl. Ground Truth) des Vergleichs zu ermitteln. Sie eignet sich daher ideal für Serienproduktionsszenarien, die als statische Druckaufträge bezeichnet werden können. Einer der Nachteile dieser Methode besteht darin, dass der Benutzer nicht sagen kann, was genau die Anomalie oder ihr Ausmaß ist.

Daher konzentriert sich diese Methode auf die Verfolgung des Wiederholbarkeitsaspekts des Prozesses.

Erkennung der Anomalie

Dies ist der nächste Evolutionsschritt der Prozesssignaturmethode. Mit dem verbesserten Verständnis der gesammelten Daten und der Entwicklung fortschrittlicherer Algorithmen

für die Datenanalyse wird die Pandora-Box der direkten Fehlererkennung geöffnet.

»So viel ist klar: Um eine direkte Anomalieerkennung zu erreichen, müssen die Unternehmen ihre derzeitige Erkennungsphilosophie verfeinern und auf den neuesten Stand bringen«, sagt Hussein Tarhini, Berater für Qualitätssicherung. »Der Schwerpunkt muss auf die Datenfusion aus mehreren Quellen und die Implementierung von KI-basierten Algorithmen für eine bessere Interpretation verlagert werden.«

Tatsache ist, dass viele Systeme noch weit von einer direkten Fehlererkennung entfernt sind, und ohne diese bleibt die Produktion von »Born-qualified-Bauteilen« immer noch ein Ziel für die nahe Zukunft.

Welches sind die derzeitigen Prozessmonitoringsysteme und was sind ihre Fähigkeiten?

Mit den unbestreitbaren Vorteilen des Prozessmonitorings geht auch ein enormer Anstieg des industriellen Interesses an der Einführung dieser Technologie einher. Als Reaktion darauf entwickeln Maschinenhersteller ein IPM-System und integrieren es in ihre Maschinen. Außerdem erscheinen Drittanbieter am Markt, die sich auf Monitoringsysteme spezialisieren. Alle präsentieren ihre eigenen Erfolgsgeschichten oder die eines engen Partners.

»Die IPM-Hersteller haben ihre Systeme mit unterschiedlichen Methoden getestet und die Fähigkeiten ihrer Produkte auf unterschiedliche Weise demonstriert«, sagt Lindeke, »es wurden jedoch nur geringe Anstrengungen unternommen, um das

System unter ähnlichen Bedingungen von einer unabhängigen Instanz zu testen. Deshalb hat meine Fachgruppe beschlossen, die Rolle eines unabhängigen Prüfers zu übernehmen, um die Fähigkeiten solcher Systeme zu evaluieren.«

Um dieses Problem zu lösen, hat das Fraunhofer IAPT eine detaillierte Studie durchgeführt, die sich auf das Prüfen bereits vorhandener oder demnächst erscheinender Prozessmonitoringsysteme von Maschinenlieferanten sowie von unabhängigen Anbietern konzentriert.

Die Studie beleuchtet die IPM-Systeme und ihre Fähigkeiten zur Erkennung von Bauteilanomalien unter verschiedenen Bedingungen. »IPM-Systeme wurden von ihren Herstellern in unterschiedlichem Maße unter Laborbedingungen getestet«, sagt Hussein Tarhini. »Das Problem läuft im Wesentlichen auf die Fähigkeit hinaus, Anomalien so zu reproduzieren, wie sie in industriellen Produktionsszenarien auftreten würden.«

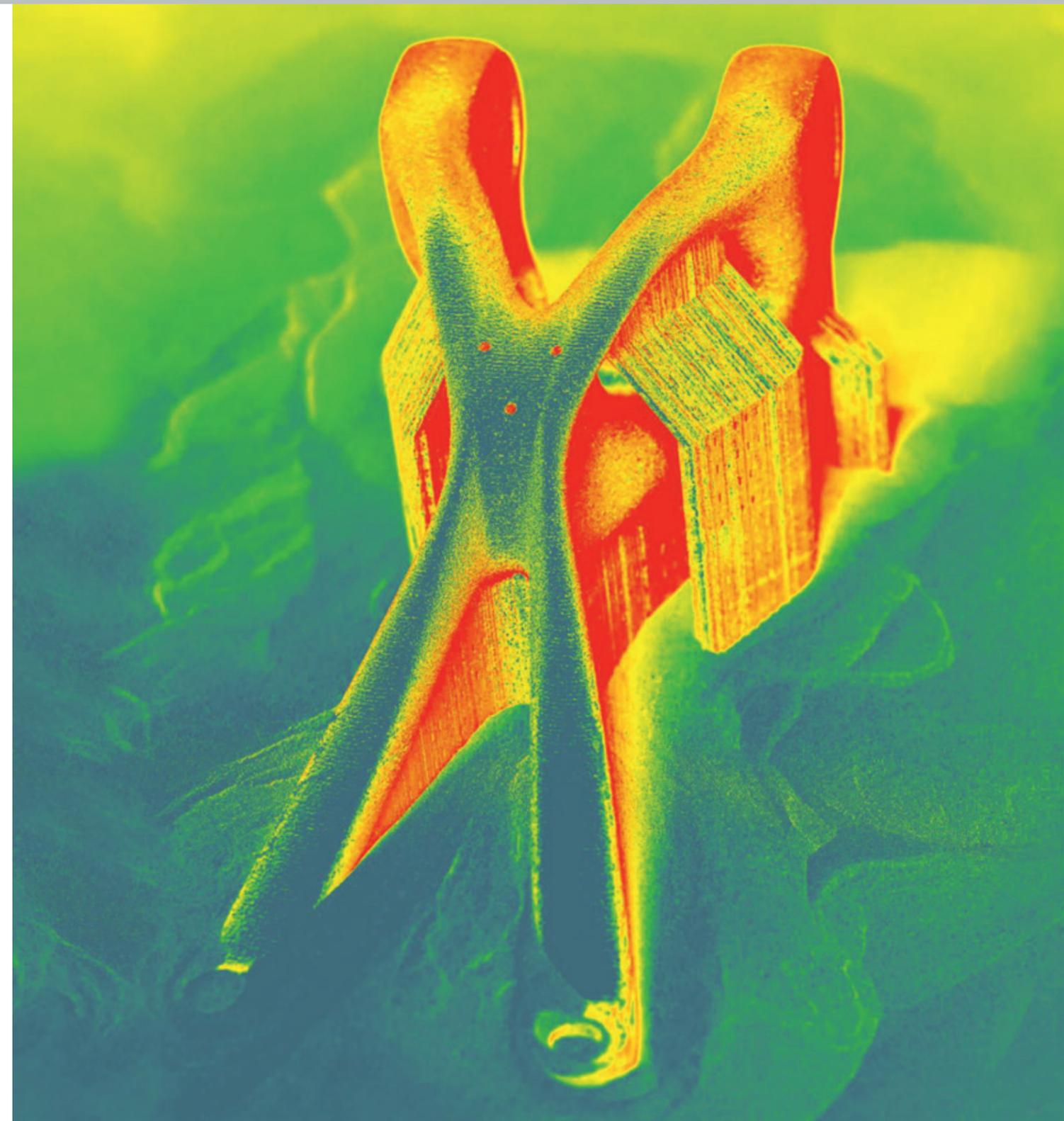
Diese Studie, die sowohl theoretische als auch praktische Untersuchungen umfasst, hängt nicht nur vom Wissen des Fraunhofer IAPT über den AM-Prozess und die Anomaliebildung ab, sondern auch von der Fähigkeit reproduzierbare Analysen zu entwickeln, welche eine einheitliche und vergleichbare Performancebewertung unterschiedlicher IPMS-Systeme erstmals ermöglicht.

KONTAKT

Peter Lindeke

+49 40 484010-730

peter.lindeke@iapt.fraunhofer.de



ADDITIVE ACADEMY GOES DIGITAL



Additive Academy erweitert ihr Trainingsprogramm um digitales Kursangebot

Die Additive Academy positioniert sich seit Jahren erfolgreich mit dem Alleinstellungsmerkmal »Transfer von anwendungsorientierten Forschungsergebnissen«. Klare Marktorientierung, fachliche Expertise mit Praxisrelevanz und kontinuierliche Weiterentwicklung der Angebote kennzeichnen die Additive Academy.

Obwohl die Vorteile von Präsenzveranstaltungen unbestritten sind und immer noch die klassische Form von Trainings und Workshops darstellen, werden zukünftig elektronische Lernformen einen wichtigen Platz in der berufsbegleitenden Weiterbildung einnehmen. Die gezielte Kombination beider Formate setzt neue Potenziale frei. Auch die Additive Academy setzt seit diesem Jahr verstärkt auf digitale Angebote vor Ort und beim Kunden und ergänzt das Trainingsprogramm kontinuierlich.

E-Learning: kostengünstig viel erreichen

Es brauchte ein neues Lernkonzept, um das anspruchsvolle Ziel eines internationalen Automobilkonzerns umzusetzen, viele Mitarbeiter im internationalen Umfeld in den Grundlagen der additiven Fertigung zu schulen. Mit der Entwicklung eines sechsstündigen E-Learnings wurde das Ziel mit einer kostengünstigen Lösung erfolgreich umgesetzt. Das E-Learning ermöglicht einerseits, zeit- und ortsunabhängig im eigenen Tempo strukturiert die verschiedenen Technologien der additiven Fertigung mit Metall und Kunststoff kennenzulernen. Andererseits können viele Mitarbeiter über die reine Wissensaneignung hinaus konkrete Anwendungsfälle aus ihrem Arbeitsumfeld identifizieren und sich mit der geeigneten Technologieauswahl (Verfahrensauswahl) befassen.

Anhand von Beispielen aus dem eigenen Automobilkonzern, Erklärvideos, relevanten Technologievergleichen, Übungen und Quizaufgaben kann sich jeder Teilnehmer selbst prüfen



und es entsteht sehr schnell ein Gespür für die Möglichkeiten und Grenzen der einzelnen Technologien der additiven Fertigung.

Digitale Workshops: mit gezieltem Wissen unterstützen

Für die Lösung eines konkreten Problems – des gleichen Automobilkonzerns – haben wir mit digitalen Workshops positive Erfahrungen gemacht. Mit gezieltem Wissenstransfer wurde die Erarbeitung einer Grundlage für Spezifikationen und Qualitätssicherungsstandards unterstützt.

Mehrere Experten des Fraunhofer IAPT trafen sich mit dem Kunden in vier halbtägigen digitalen Workshops statt zu einer zweitägigen Präsenzveranstaltung. Bezeichnend sind die durchweg positiven Rückmeldungen zu diesem Format, die sich nicht nur auf den Wegfall von Reisekosten und -zeit beziehen, sondern besonders den praxisorientierten Wissenstransfer und die gute Einbindung in den Arbeitsalltag herausstellen.

Digitales Basistraining: mehr als eine Alternative in Zeiten von Corona

Wenn auch die Reisebeschränkungen durch Corona den Anstoß für die zeitnahe Umstellung unseres bekannten AM-Basistrainings gaben, wurden die Vorteile für unseren Kunden und die Additive Academy sehr schnell deutlich. Statt des bisherigen eintägigen Trainings haben sich Teilnehmer und Experten des Fraunhofer IAPT an zwei Vormittagen per Videokonferenz getroffen.

Das Fazit in Zeiten von Corona: Die digitale Form ist mehr als eine Notlösung. Gezielte Moderation konnte die Gruppenbildung unterstützen und die angepasste Organisation den Lerncontent entzerren. Das sehr fokussierte Lernen mit intensivem Austausch in der Gruppe und Gruppenarbeiten gefiel den Teilnehmern besonders. Trotz alledem eignen sich digitale Kursangebote nur für bestimmte Inhalte. Die Einbindung in ein kombiniertes Lernkonzept bleibt zwingend, und praktische Übungen z. B. direkt an der Maschine wie im Hands-on-Training der Additive Academy lassen sich nicht digital umsetzen.

Metal AM Professional – Design: Zertifikatslehrgang nach ISO 17024

Die Additive Academy bietet ab sofort eine zweiwöchige Ausbildung zum »Metal Additive Manufacturing Professional – Design« an. Diese Zertifizierung nach ISO 17024 bescheinigt den Absolventen, Konstruktionsaufgaben für metallbasierte additive Fertigung von der Potenzialanalyse über die Konstruktion bis zur Fertigungsvorbereitung unter Einhaltung der geltenden Konstruktionsrichtlinien erfolgreich gelöst zu haben.

KONTAKT

Jochen Look

+49 40 484010-736

jochen.look@iapt.fraunhofer.de



PROMOTIONEN UND DISSERTATIONEN



2020 | Promotionen/veröffentlichte Dissertationen | Max Oberlander
Prozessüberwachung beim Laser-Remote-Trennen

Das Laser-Remote-Trennen von hochfesten Stählen und kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffen stellt eine wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Verfahren dar. Durch Charakterisierung der Prozessemissionen kann eine Aussage zum Prozessfortschritt getroffen und somit die Bearbeitungsgeschwindigkeit bzw. die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens gesteigert werden.

ISBN 978-3-662-61513-3 | DOI 10.1007/978-3-662-61513-3



2020 | Promotionen/veröffentlichte Dissertationen | Philipp Thumann
Laserbasierte Klebflächenvorbereitung für CFK-Strukturbauteile

Die Reparatur von CFK-Strukturbauteilen stellt eine der wesentlichen Herausforderungen für die Instandhaltung moderner Verkehrsflugzeuge dar. In der vorliegenden Arbeit wird ein Prozess zur laserbasierten Klebflächenvorbereitung für eine adhäsiv ausgeführte Reparatur vorgestellt.

ISBN 978-3-662-62241-4 | DOI 10.1007/978-3-662-62241-4

LEHRAUFTRÄGE DES FRAUNHOFER IAPT

Das Fraunhofer IAPT hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Begeisterung für und das Wissen um die additive Fertigung und die Schweißtechnik in die Zukunft zu tragen. Den zahlreichen Lehraufträgen kommen unsere fachlich versierten Wissenschaftler als Dozenten von Hamburg bis nach Baden-Württemberg mit vollem Einsatz in diversen Sprachen nach. In der Tabelle sehen Sie eine kleine Auswahl unserer Lehrtätigkeiten, die durch externe sowie interne Vorträge und Schulungen noch ergänzt werden.

Lehrstätte	Vorlesungstitel
Technische Universität Hamburg	3D Printing Laboratory Six-Sigma-Methodik im Qualitätsmanagement Additive Production Laser Systems and Process Technologies Additive-Production-Seminar Structural Optimization Fertigungstechnik II (Lasersystemtechnik)
Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Nord	Additive Fertigung
Hamburger Fern-Hochschule	Labor zur Laserproduktionstechnik
Duale Hochschule Baden-Württemberg Mosbach	Aktuelle Entwicklungen additiver Fertigungsverfahren

Herausgeber:

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
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
info@zv.fraunhofer.de

Redaktion:

Bettina Laux, Dr. Denise Loder

Layout und Produktion:

Markus Schmidt, Marc Janocha

Lektorat und Übersetzung:

ADVERTEXT®
Lektorat & Übersetzung für Werbung, Wirtschaft, Medien
Achenbachstraße 12
40237 Düsseldorf

Druck:

PAV Card GmbH

Gleichstellung und Gender:

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit haben wir teilweise in unseren Formulierungen auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Sprachformen verzichtet. Dies impliziert jedoch keine Benachteiligung des weiblichen Geschlechts, sondern soll im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen sein.

Bildnachweise:

Alle Bilder Fraunhofer IAPT ausgenommen:
Seite 24, Abb. 7: AC Aircontrols GmbH;
Seite 34, Abb. 1: IWT;
Seite 34, Abb. 2 und 3: Mercedes-Benz;
Seite 35, Abb. 4: EDAG;
Seite 52, Abb. 1: Lynxter SAS, Frankreich;
Seite 53, Abb. 1: Element 22 GmbH;
Seite 60, Abb. 1: EOS;
Seite 80: Springer Vieweg

Berichtszeitraum:

1. Januar bis 31. Dezember 2020

Copyright:

Alle Rechte vorbehalten.
Vervielfältigung und Verbreitung nur mit Genehmigung der Redaktion.

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Sie ist Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz. Mit inspirierenden Ideen und nachhaltigen wissenschaftlich-technologischen Lösungen fördert die Fraunhofer-Gesellschaft Wissenschaft und Wirtschaft und wirkt mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft.

Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit wertorientierter Wertschöpfung die deutsche und europäische Wirtschaft. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 75 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 29 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Milliarden Euro. Davon fallen 2,4 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern

Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht weit über den direkten Nutzen für die Auftraggeber hinaus: Fraunhofer-Institute stärken die Leistungsfähigkeit der Unternehmen, verbessern die Akzeptanz moderner Technik in der Gesellschaft und sorgen für die Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Hochmotivierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf dem Stand der aktuellen Spitzenforschung stellen für uns als Wissenschaftsorganisation den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Fraunhofer bietet daher die Möglichkeit zum selbstständigen, gestaltenden und zugleich zielorientierten Arbeiten und somit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung, die zu anspruchsvollen Positionen in den Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft befähigt. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und des frühzeitigen Kontakts mit Auftraggebern hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

Stand der Zahlen: Januar 2021
www.fraunhofer.de



Onlineversion des
Jahresberichts

