



## Inhalt

- 04** Cross Technology – Neues Kompetenzteam »Additive Fertigung« am Fraunhofer IPK
- 06** Expertenfrage Trends 2020 – Zukünftige Dienstleistungen und Produkte additiver Technologien
- 08** Anspruchsvoll qualifiziert – Comeback des Kupfers im Werkzeugbau
- 10** Gut gebaut, Verzug im Griff – Anlagenentwicklung und In-Situ-Eigenspannungsmessung am PTZ
- 12** 3D-Druck für Metalle – Selektives Laserstrahlschmelzen und Laser-Pulver-Auftragschweißen
- 14** Das Beste aus zwei Verfahren – Hybrider Aufbau additiver Bauteile
- 16** AM 4.0 – Mobile App für die Qualitätssicherung
- 18** Sicher und robust – Qualitätsmanagement in der additiven Produktion
- 20** Schnelle Prototypen – Additive Fertigung als Werkzeug in Entwicklungsprojekten
- 22** Brücke zwischen Entwurf und Fertigung – Numerische Simulation für additive Prozesse
- 24** Neuer Fall für den ePuzzler – Rekonstruktion zerstörter Archivalien des Instituto Judío de Investigaciones (IWO)
- 26** Finderlohn – Automatisierte virtuelle Rekonstruktion von Euro-Banknoten
- 28** Interview: Rainer Lotz, Renishaw
- 30** Firmenporträt: 3D-Metall-Druck – Wirtschaftlich und schnell
- 31** Laborporträt: Additive Fertigungstechnologien – Vom Design bis zur Qualitätssicherung
- 32** Ereignisse und Termine
- 40** PTZ im Überblick

## Editorial

**Liebe Leserinnen, liebe Leser,** kurze Entwicklungszeiten, die Realisierung eines optimalen Markteintritts, die Senkung von Produktionskosten sowie eine hohe Produktqualität und -lebensdauer sind aktuelle Herausforderungen in der Luftfahrtindustrie, dem Werkzeugbau und der Automobilindustrie. Unternehmen reagieren darauf zunehmend mit der Integration von additiven Fertigungsverfahren in ihre Produktionsprozessketten. Durch das immer breiter werdende Anwendungsspektrum haben sich additive Technologien zu einem wirtschaftlichen Fertigungssystem für die Herstellung von hochkomplexen Produktkomponenten in Kleinserien etabliert. Das globale Marktvolumen der additiven Fertigung wird für 2018 auf 4,5 Milliarden Euro geschätzt, bis zum Jahr 2023 sollen es sogar 7,7 Milliarden Euro sein.\* Neben der Luft- und Raumfahrt sind es vor allem Branchen wie der Turbinenbau und die Medizintechnik, in denen die Technologie bereits eingesetzt wird.

Die Potenziale additiver Fertigungsverfahren auch für die industrielle Großserienfertigung nutzbar zu machen, ist unser Ziel am Fraunhofer IPK. Dafür haben wir eigens ein Kompetenzteam aus Spezialisten unterschiedlicher Fachdisziplinen zusammengestellt, das agil und flexibel in interdisziplinären Projekten zusammenarbeitet, um ganzheitliche kundenindividuelle Lösungen für den industriellen Einsatz additiver Fertigungstechnologien zu entwickeln. Dabei konzentrieren wir uns auf die Werkstoff-, Prozess- und Produktentwicklung, die Konzeption von additiven Fertigungsanlagen und peripheren robotischen Unterstützungssystemen sowie die Einführung von Qualitätssicherungs- und Qualitätsmanagementsystemen. Einen Einblick in die aktuellen FuE-Projekte unseres Kompetenzteams »Additive Fertigung« geben wir Ihnen in dieser FUTUR.



Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann

Unser technologischer Schwerpunkt liegt auf dem Selektiven Laserstrahlschmelzen, dem Laser-Pulver-Auftragschweißen und dem Selektiven Lasersintern. Mit diesen Verfahren können wir bereits heute viele metallische Legierungen und Kunststoffe sicher verarbeiten. Die Bauteile, welche werkzeuglos auf Basis von 3D-CAD-Daten erstellt werden, können im Hinblick auf ihre Materialeigenschaften mit konventionell produzierten Gütern mithalten. Mehr noch: Sie sind ihnen in Bezug auf Losgröße 1 und Kleinserien hinsichtlich großer Designvariationen und kurzer Durchlaufzeiten ein ganzes Stück voraus.

Unser Augenmerk richtet sich jedoch nicht allein auf den additiven Fertigungsschritt selbst. Vielmehr verstehen wir diese innovativen Verfahren als integrierten Teil einer kompletten Fertigungskette und betrachten auch alle vor- und nachgelagerten Prozesse. So wollen wir mithilfe der numerischen Simulation die Lücke zwischen Entwurf und Fertigung schließen und Probleme bei additiven Bauprozessen frühzeitig erkennen. Außerdem bieten wir mit einer eigenen App-Entwicklung eine mobile Lösung für die Qualitätssicherung in der additiven Produktion. Mehr darüber erfahren Sie im Heft. Viel Freude beim Lesen wünscht Ihr

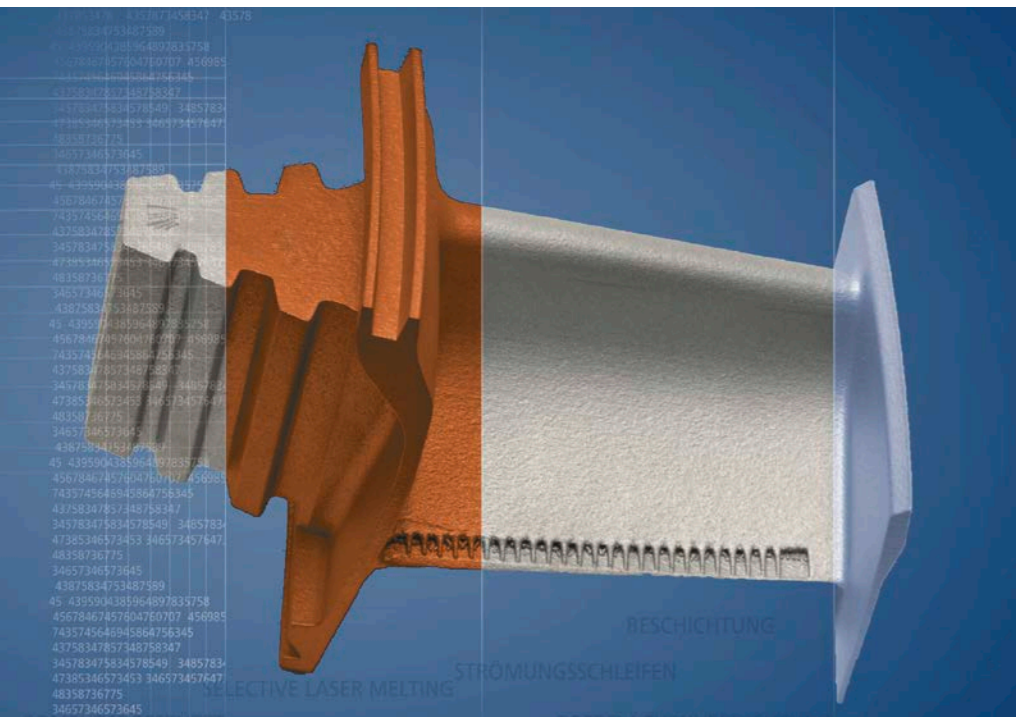
Eckart Uhlmann



# Cross Technology

## Neues Kompetenzteam »Additive Fertigung« am Fraunhofer IPK

2017 wurde am Fraunhofer IPK das »Competence Team Additive Manufacturing – CTAM« ins Leben gerufen, um das bereits vorhandene FuE-Know-how geschäftsfeldübergreifend zu bündeln. Spezialisten aus den Bereichen Virtuelle Produktentstehung, Produktionssysteme, Mikroproduktionstechnik, Füge- und Beschichtungstechnik und Unternehmensmanagement kooperieren hier agil und flexibel in interdisziplinären Projekten und entwickeln ganzheitliche kundenspezifische Lösungen für den industriellen Einsatz additiver Fertigungstechnologien in Unternehmen des Turbomaschinenbaus sowie Werkzeug- und Formenbaus.



Additiv gefertigte Turbinenschaufel im virtuellen Scan

Ziel der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des neuen Kompetenzteams ist es, die Wettbewerbsfähigkeit seiner Kunden durch anwendungsspezifische System- und Detaillösungen sowie Innovationsvorsprünge durch systematische Forschung langfristig zu verbessern. Im Hinblick auf die additiven Fertigungstechnologien werden dabei alle zur Herstellung eines Produkts notwendigen Prozessschritte und Randbedingungen ganzheitlich betrachtet, um diese Technologien künftig im industriellen Umfeld ressourcenschonend und wertschöpfend einsetzen zu können.

### ► Roadmap für den breiten industriellen Einsatz

Die IPK-Expertinnen und -Experten greifen dabei auf ihre rund zehnjährigen Erfahrungen in verschiedenen bilateralen Projekten und großen Verbundvorhaben zurück. Als Partner im Projekt »AGENT 3D« entwickeln sie seit 2013 generative Prozessketten für die Branchen Turbomaschinen, Luftfahrt, Werkzeugbau und Konsumgüterindustrie. Zentrale Aufgabe des Projekts ist die Erarbeitung einer wissenschaftlichen, technischen, organisatorischen und ökonomischen Roadmap für den breiten industriellen Ein-

## Additive Fertigung

satz von 3D-Technologien. Dabei wird der gesamte Produktlebenszyklus berücksichtigt – vom Design über die Fabrikplanung und Fertigung bis hin zu Qualitätsmanagement und Recycling. Gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten IWS, IWU und MEOZ leistet das Fraunhofer IPK hier einen zentralen Beitrag zum Forschungsprogramm »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« des BMBF, in dessen Rahmen das Projekt noch die nächsten zwei Jahre gefördert wird.

### ► Produkt- und Prozessentwicklung

Am Fraunhofer IPK konzentrieren sich die Forschungsdienstleistungen des Kompetenzteams »Additive Fertigung« künftig auf die Werkstoff-, Prozess- und Produktentwicklung, die Entwicklung von additiven Fertigungsanlagen und peripheren robotischen Unterstützungssystemen sowie die Einführung von Qualitätssicherungs- und Qualitätsmanagementsystemen. Im Bereich der Werkstoffentwicklung arbeiten die Wissenschaftler an der Zusammenstellung neuer Werkstoffe durch das Dotieren vorhandener Werkstoffe mit weiteren Legierungselementen, der Analyse von Ausgangswerkstoffen für die jeweiligen additiven Fertigungstechnologien und der Absicherung der Werkstoffeigenschaften durch Analysen. Neben dem Einsatz von additiven Technologien für die Herstellung von Bauteilprototypen in verschiedenen Geometrievarianten untersuchen die Wissenschaftler auch geeignete Verfahrenskombinationen für eine flexible und schnelle Produktherstellung.

Um Probleme bei additiven Bauprozessen früh zu erkennen und Optimierungspotenziale auszuschöpfen, setzen die Experten außerdem auf die numerische Simulation. Sie kann noch vor dem ersten Experiment Hinweise zur Aufbastrategie und der daraus folgenden Maßhaltigkeit eines Bauteils geben. Das Kompetenzteam entwickelt am



Brennerdüse für eine Mikrogasturbine aus der Nickel-Basis-Legierung Inconel 718

Beispiel des Laser-Pulver-Auftragschweißens die Simulationstechnologie weiter, um auch große praxisrelevante Teile zu berechnen und qualitativ hochwertige Vorhersagen zu generieren.

Auf der Basis von Strukturanalysen erarbeiten die Wissenschaftler außerdem anwendungsnahe Konzepte für Werkzeugmaschinen und Multimaterialsysteme, deren Komponenten leicht adaptierbar sind. Die Ausstattung mit Sensoren und peripheren Monitoringsystemen ermöglicht zusätzlich eine integrierte Zustandserfassung und -überwachung der Anlagen. Für eine Einbindung additiver Fertigungssysteme in flexible Produktionsstrukturen verfolgen die Ingenieure des Kompetenzteams den Anspruch, die Verfahren als zertifizierungsfähige Produktionssysteme zu etablieren.

### ► Qualitätsmanagement für additive Prozesse

Grundlage für eine Zertifizierung additiver Technologien ist ebenfalls ein effektives Qualitätsmanagement. Vor allem in Bezug auf die Serientauglichkeit additiver Technologien gelten Prozesssicherheit und Qualitätssicherung nach wie vor als große Herausforderungen für Hersteller und Anwender. Zwar gibt es einige Insellösungen für partielle Prozessüberwachungen. Eine umfassende Qualitäts-

kontrolle ist bisher jedoch nicht möglich, da vor allem der Zusammenhang zwischen den Produktionsdaten und der Bauteilqualität unbekannt ist. Deshalb hat sich das Kompetenzteam auch zur Aufgabe gemacht, Qualitätsroutinen für additive Prozessketten zu entwickeln, aus denen sich wiederum Maßnahmen zur Optimierung der additiven Produktion insgesamt ableiten lassen. Auch hier sind anwendungsnahe Lösungen das Ziel, die eine robuste Serienproduktion ermöglichen.

### ► Mehrwert für Unternehmen

Heute kooperieren bereits elf wissenschaftliche Mitarbeiter im Kompetenzteam »Additive Fertigung« und nutzen Synergieeffekte aus ihren Fachdisziplinen, um komplexe Fragestellungen effizient zu bearbeiten und eine zielgerichtete Systemforschung über die gesamte Wertschöpfungskette der additiven Produktion zu realisieren. Der exklusive und bereichsübergreifende Zugang zu Wissen sowie zu Kompetenz- und Technologieträgern schafft einen deutlichen Mehrwert für die im Markt agierenden Unternehmen. Sie profitieren von der interdisziplinären Vorlauforschung des Fraunhofer IPK und haben als Projektpartner die Chance, bereits nach kurzer Integrationsphase ihre Produkte und Dienstleistungen im Markt wettbewerbsfähig anzubieten. Darüber hinaus wird das



Detail eines additiv gefertigten Schaufelrads aus In718

Portfolio des Kompetenzteams durch Seminare zur Weiterbildung von Fachpersonal ergänzt. Zudem kooperiert das Fraunhofer IPK mit regionalen, nationalen und internationalen Netzwerken und Allianzen und ist in verschiedenen Normungsgremien des DVS und des VDI aktiv. ■

### Ihr Ansprechpartner

André Bergmann  
Telefon: +49 30 39006-107  
andre.bergmann@ipk.fraunhofer.de



## Additive Fertigung

## Expertenumfrage Trends 2020

## Zukünftige Dienstleistungen und Produkte additiver Technologien

**Aufgrund der immer kürzeren Innovationszyklen gewinnt die Integration neuer Technologien in Unternehmensportfolios zunehmend an Bedeutung, um Produkte schnell im Markt platzieren zu können. Gerade additive Technologien bieten die Chance, zukünftig in verschiedensten Branchen individuelle, hochfunktionsintegrierte und komplexe Produkte in Kleinserie herzustellen. Für die Einordnung von Grenzen und Möglichkeiten additiver Technologien zeigt eine vom Fraunhofer IPK erstellte und im Rahmen der Initiative »Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation« vom BMBF geförderte Expertenumfrage branchenübergreifend die Marktpotenziale additiver Technologien auf und identifiziert Trendfaktoren sowie Herausforderungen für deren Umsetzung.**

Innerhalb des FuE-Projekts »AGENT-3D Basis – Rahmenbedingungen für die additiv-generative Fertigung« untersuchte das Fraunhofer IPK zusammen mit dem Fraunhofer IMW, IWS und IWU technische, wirtschaftliche, gesellschaftliche und politische Aspekte, die die Einsatzpotenziale additiv-generativer Fertigungsverfahren in der industriellen Fertigung in Deutschland beeinflussen. Auf Basis der Ergebnisse leiten die Fraunhofer-Wissenschaftler mögliche Entwicklungspfade für Einsatzfelder additiv-generativer Technologien ab. Dabei interessieren sie neben industriellen Anwendungen auch Produkte aus dem Konsumgüterbereich.

Die Expertenumfrage erfolgte im Rahmen einer Szenario-Analyse zu den Einflussfaktoren und der Wertschöpfung der additiv-generativen Fertigung und erfasst den heutigen Zustand sowie die Entwicklungen, Herausforderungen und Zukunftstrends des deutschsprachigen Marktes für additive Fertigungstechnologien. Dazu wurden Anwender, Dienstleister, Pulver- und Anlagenhersteller sowie Forschungseinrichtungen befragt. Die Antworten wurden im Nachgang in einem Expertenworkshop validiert.

Eindeutiges Ergebnis der Umfrage: Die additive Fertigung erfährt weiterhin einen starken Aufschwung, vor allem dank die

Technologieentwicklung treibender Branchen wie dem Turbomaschinenbau, der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik, dem Fahrzeugbau sowie dem Werkzeug- und Formenbau. Bei einem aktuell globalen Marktvolumen von circa 7,5 Milliarden Dollar investieren nicht nur Großunternehmen in additive Fertigungstechnologien, sondern auch Mittelständler. Die retrospektive Entwicklung des Marktes zeigt, dass dieser seit mehr als zehn Jahren einem stetigen Wachstum von 30 Prozent unterliegt, wodurch immer mehr neue Akteure in den Markt eintreten. Für das Jahr 2020 prognostiziert der aktuelle Wohler-Report ein globales Marktvolumen von über 21 Milliarden Dollar. Diese Entwicklung belegt die Akzeptanz der Unternehmen und deren Vertrauen in das Zukunftspotenzial additiver Fertigungstechnologien.

#### ► Branchenübergreifendes Wachstum

So traten laut der Fraunhofer-Umfrage Großinvestoren aus den unterschiedlichsten Branchen in den Markt ein. Konzerne wie General Electric, Ford Motor Company, Körber, Klöckner & Co, Caterpillar, Johnson & Johnson, BMW, Google, Lowe, Microsoft, Siemens und Porsche investieren dabei vor allem direkt in Start-ups und fördern die Entwicklung spezieller Materialien und konkreter Produkte, aber auch die Umsetzung von

additiven Großanlagen in Kombination mit dazugehörigen Fabrikkonzepten. Ziel ist es, auch bei additiven Technologien den Sprung von der Prototypen- hin zur Serienfertigung zu realisieren.

Die Investitionen in neue Konzepte wie Kohlefaser- oder Metalldrucker für den Automobilbereich, 3D-Druck-Roboter und mobile 3D-Baudrucker oder gar das Bioprinting zeigen, dass sich der Markt branchenspezifisch orientiert. Der Fokus liegt nicht allein auf der Anlagenentwicklung, sondern verteilt sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Mit der gleichzeitigen Erforschung neuer Werkstoffe, Prozesse und der Qualifizierung neuer Applikationen werden additive Fertigungstechnologien damit zu einem festen Bestandteil der künftigen Produktion.

#### ► Von der Kleinserie zur Serie

Die Fraunhofer-Umfrage macht auch deutlich, dass die Integration von additiven Technologien in den Massenmarkt nach wie vor als gering bewertet wird. Ein Grund dafür ist der derzeitige Entwicklungsstand der Fertigungssysteme, welche noch nicht die nötige Stabilität und auch noch zu hohe Produktionszeiten für die Serienfertigung besitzen.

Auf dem Weg zur Industrialisierung additiver Fertigungstechnologien stehen deshalb verschiedene Forschungsschwerpunkte im Fokus der Wissenschaft. Dazu gehören die Materialqualifizierung, die Zustandsüberwachung und das Anlagenmanagement, die Automatisierung sowie die Digitalisierung der Produktionskette. Durch die fortschreitende Spezialisierung der einzelnen additiven Fertigungstechnologien entstehen in den verschiedenen Branchen neue Anwendungsfälle, welche vor wenigen Jahren noch nicht denkbar waren. Dabei prägen Trends aus der konventionellen Fertigung auch die additiven Technologien und tragen zu

Umfrage und Messe form.next
Bedarfsfelder der Industrie
Sammeln von Erfahrungen und Vertrauen
Wissenstransfer
Verständnis der Vor- und Nachteile
Akzeptanz
Grundlagenwissen/Standards/Richtlinien
Materialvielfalt
Spezifikation der Materialqualität
Vielzahl der Produktionsparameter
Produktqualitätsstandards
Erhöhung der Prozessgeschwindigkeit
Optimierung der Prozessparameter
Automatisierungslösungen
Qualitätssicherung
Erfahrung mit Maschinensystemen
Technologischer Kundensupport
Kommunikation zwischen verschiedenen Produktionssystemen
Softwareauswahl für Maschinenkommunikation
Standardisierung
Neue Anlagenkonzepte
Verträge und Geschäftsmodelle OEMs/Supplier

innovativen Lösungen im Markt bei. Dazu zählen die Automatisierung für den Transfer zwischen Maschinen und Messsystemen, multimaterial- und anwendungsspezifische Werkstoffe, Verfahrenskombinationen für die hybride Fertigung, kundenindividuell konfektionierte Werkstoffe, hier z. B. der Einsatz von TRIP-Stählen statt Titan, sowie eine softwarebasierte Prozessüberwachung.

#### ► Erfolgsfaktoren

Mit der Expertenumfrage stellt das Fraunhofer IPK unabhängige Fachinformationen und Handlungsempfehlungen für den Einsatz additiver Fertigungstechnologien bereit und beschreibt machbare Rahmenbedingungen

VDMA, VDI, ACATEC, DMRC
Erfolgsfaktoren für Umsetzung
Funktionsintegriertes Produktdesign
Konstruktions- bzw. Gestaltungsrichtlinien
Ausbildung von Fachkräften
Erweiterung der Werkstoffpalette
Materialentwicklung und Qualifizierung
Prozessproduktivität
Reduzierbarkeit der Prozesse
Entwicklung von Prozessketten und Workflows
Normen und Standards
Datenerfassung und -systeme
Datenintegrität
B2C- und B2B-Konzepte für die Prozesskette
Rechtssicherheit Produkthaftung
Qualitätssicherungsmethoden

*Ergebnisse der Expertenumfrage im Rahmen des Projekts »AGENT-3D Basis – Rahmenbedingungen für die additiv-generative Fertigung«*

für die Weiterentwicklung der Technologie in den nächsten Jahren. Dabei ermitteln die Wissenschaftler im Sinne der Systemwissenschaft Zusammenhänge und Wechselwirkungen und analysieren, welche Faktoren in einer digitalen und vernetzten Wertschöpfung über Erfolg und Misserfolg bei der Einführung neuer Technologien entscheiden. Signifikante Faktoren für die additive Fertigung sind die Entwicklung von Anlagen, Software und Werkstoffen. Für eine Produktion in einem gemeinschaftlichen Wertschöpfungsnetzwerk ist darüber hinaus die branchenspezifische Zertifizierung für Prozesse und Werkstoffe wichtig. Außerdem ist in den nächsten Jahren die Ausbildung von Fachkräften auf allen Ebenen von zentraler Bedeutung.

Diese Faktoren können sich durch gezielte Steuerung und Organisation so entwickeln, dass die nationale Wertschöpfung einen

Vereinsmitglieder AGENT-3D
Erfolgsfaktoren für Umsetzung
Normen und Richtlinien
Gestaltung der Wertschöpfungskette
Zukunftsgerichtete, unterstützende Unternehmenskultur
Branchenstruktur
Branchenstandards
Prozesssicherheit
Entwicklung der Konkurrenzverfahren
Nachbearbeitungsprozesse
Automatisierungsgrad
Erhöhung der Materialzuverlässigkeit
Qualitätssicherungsmethoden
Parameterentwicklung
Bauteilfertigungskosten
Funktionsintegration
Produktinnovationszyklus

qualitativen Sprung im Umgang mit additiven Fertigungstechnologien erlebt. Dafür müssen neue Anwendungen, Prozessketten und Workflows insbesondere für KMUs zugänglich gemacht werden. Ziel muss es sein, dass der Kundennutzen auch für kleine und mittlere Firmen deutlich wird und die Vorteile der additiven Fertigung gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren auch hier zum Tragen kommen. ■

#### Ihr Ansprechpartner

André Bergmann  
Telefon: +49 30 39006-107  
andre.bergmann@ipk.fraunhofer.de

# Anspruchsvoll qualifiziert Comeback des Kupfers im Werkzeugbau

Die Fertigung von komplexen Werkzeugen ist oft mit aufwendigen Schritten verbunden und eine große Herausforderung für die gesamte Prozesskette. Konventionelle Fertigungsverfahren stoßen vor allem beim Einbringen von Kühl- oder Temperierkanälen in ein Bauteil sehr schnell an ihre Grenzen. In den meisten Fällen können solche Kühlkanäle nur gebohrt werden. Dadurch wird die Design- und Konstruktionsfreiheit stark eingeschränkt. Das Selektive Laserstrahlschmelzen (SLM) als additive Technologie dagegen ermöglicht die Fertigung von Bauteilen und Werkzeugen mit nahezu unbegrenzter geometrischer Komplexität. Durch den Einsatz spezieller Funktionswerkstoffe können außerdem die Standzeiten der Werkzeuge erhöht und Taktzeiten sowie Bauteilausschuss reduziert werden. Wissenschaftler am IWF der TU Berlin arbeiten deshalb an der Qualifizierung von aushärtbaren Kupferlegierungen für das SLM-Verfahren.

## Additive Fertigung

Die Integralbauweise, also die Herstellung eines Bauteils statt mehrerer Einzelteile, ist ein weiterer Vorteil des SLM-Verfahrens. Der schichtweise Aufbau macht völlig neue Werkzeugkonstruktionen möglich und reduziert die Baugruppenkomplexität drastisch. Nachfolgende Montageschritte von Werkzeugkomponenten entfallen komplett. Bisher wurden jedoch nur wenige Werkstoffe für das SLM-Verfahren untersucht und qualifiziert. Wissenschaftler des IWF der TU Berlin arbeiten deshalb an der Erweiterung der Werkstoffpalette sowie an einem tieferen Prozessverständnis, um das Verfahren für den breiten industriellen Einsatz zu etablieren.

### ► Qualifizierung von Kupfer für das SLM-Verfahren

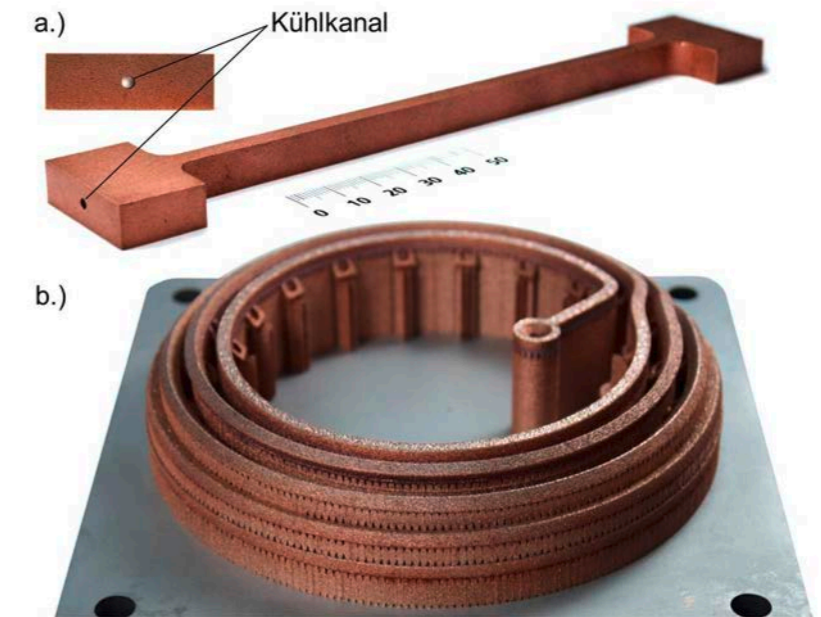
Die Qualifizierung neuer Werkstoffe für die additive Bearbeitung mit SLM ist ein zeit- und ressourcenaufwendiger Prozess. Zuerst muss das Pulver als Ausgangswerkstoff umfassend auf Qualitätsmerkmale wie chemische Zusammensetzung, Partikelgrößenverteilung, Feuchte, Fließfähigkeit und Schüttdichte untersucht werden. Da das Pulver einen großen Einfluss auf die Prozess- und Bauteilqualität hat, ist es wichtig jedes dieser Merkmale zu prüfen. Danach finden technologische Untersuchungen zur Bestimmung der Werkstoffeigenschaften statt. Qualitätskennwerte wie Gefügebildung, relative Dichte, Härte sowie statische und dynamische Festigkeiten sind hier von Interesse. Diese Kennwerte werden umfassend geprüft und im Vergleich Guss- und Knetlegierungen gegenübergestellt. Anschließend finden Untersuchungen zur Wärmenachbehandlung statt. Neben den genannten werkstofflichen Qualitätsmerkmalen werden dabei auch Bauteileigenschaften wie Oberflächengüte sowie Form- und Maßgenauigkeit vor und nach der Nachbearbeitung untersucht und je nach Bedarf optimiert.

Technische Kupferlegierungen finden aufgrund ihrer hohen thermischen und elektrischen Leitfähigkeit, ihrer ausgezeichneten Warm- und Verschleißfestigkeit sowie

den genannten Alleinstellungsmerkmalen von SLM-Verfahren wieder breite Anwendung im Bereich Werkzeug- und Formenbau. Allerdings ist die SLM-Verarbeitung von Kupferlegierungen mit einigen Herausforderungen verbunden. Die Gründe dafür sind vor allem die hohe Wärmeleitfähigkeit und hohe Reflektivität dieser Werkstoffe. Dadurch wird der Energieeintrag durch den Laser erschwert und die gesamte SLM-Prozessführung anspruchsvoller. In der Industrie sind derzeit SLM-Anlagen mit einer Laserleistung bis 400 Watt weit verbreitet. Die Verarbeitbarkeit von Kupferlegierungen wurde bisher allerdings vornehmlich auf Anlagen mit einer sehr hohen Laserleistung erfolgreich nachgewiesen. Ein Ziel der Wissenschaftler ist es deshalb, die Verarbeitbarkeit von neuen Werkstoffen auch an Anlagen mit geringerer Laserleistung sicherzustellen.

### ► Werkstoff im Praxistest

Am IWF der TU Berlin wurde die Kupferlegierung CuCr1Zr erfolgreich für das Selektive Laserstrahlschmelzen qualifiziert. Die

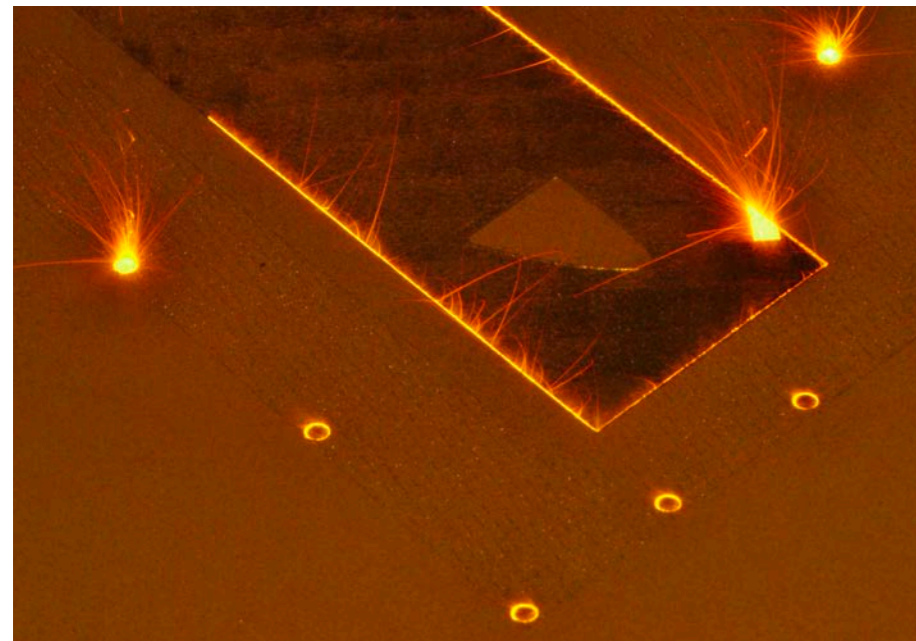


Additiv gefertigte Werkzeuge für das elektromagnetische Umformen: a.) Flachspule mit innenliegendem Kühlkanal; b.) komplexe 3D-Spule

erreichte Bauteildichte liegt im Bereich von 99,9 Prozent und übertrifft damit deutlich den aktuellen Stand der Technik. Die Zugfestigkeit und die Dehngrenze von additiv gefertigtem Kupfer entsprechen oder sind sogar höher als die Werte einer Knetlegierung. Die Oberflächengüte von additivem Kup-

fer erreicht typische Werte für eine additive Fertigung im Bereich von 100 bis 120 Mikrometern. Die erzielte elektrische Leitfähigkeit entspricht rund 94 Prozent der elektrischen Leitfähigkeit einer Knetlegierung.

Im Anschluss an die Werkstoffqualifizierung wurden Werkzeuge für das elektromagnetische Umformen gebaut und ersten Anwendungstests unterzogen. In den praktischen Untersuchungen wurden die additiv gefertigten Werkzeuge den konventionellen gegenübergestellt. Die erzielten Umformergebnisse waren für beide Werkzeugarten vergleichbar – für die Wissenschaftler der Beleg, dass die Qualifizierung der Kupferlegierung für den SLM-Prozess sowie der anschließende Praxistest als Produkt erfolgreich waren. ■



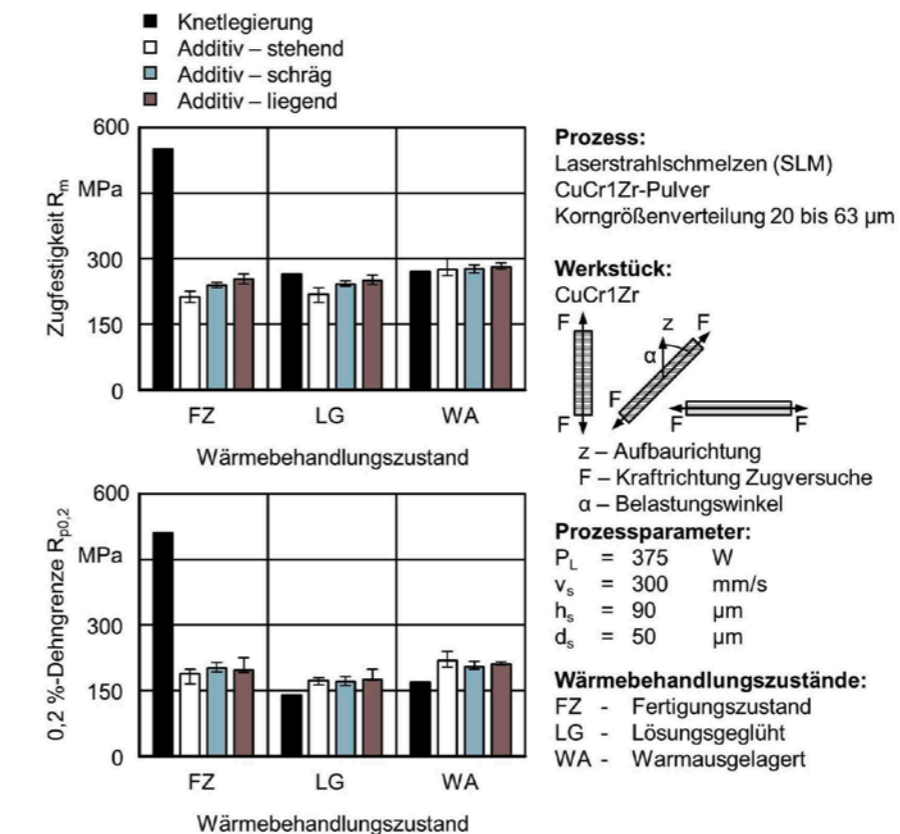
Selektives Aufschmelzen des Metallpulvers während eines SLM-Prozesses

### ► SLM-Verfahren im Werkzeug- und Formenbau

Die Anforderungen an Fertigungswerkzeuge steigen stetig. Zum einen werden die Geometrien, insbesondere die Innengeometrien, immer komplexer. Zum anderen werden die Werkzeuge überwiegend einzeln oder in Kleinserien hergestellt. Die Zulieferer sind dabei ständigem Kosten- und Zeitdruck ausgesetzt. Aus diesem Grund wird das Selektive Laserstrahlschmelzen immer wichtiger für den Werkzeug- und Formenbau. Mit SLM

gefertigte Bauteile erreichen eine relative Dichte von über 99 Prozent und weisen vergleichbare oder sogar bessere mechanisch-technologische Eigenschaften als Guss- oder Knetlegierungen, beispielsweise in Bezug auf die Zugfestigkeit, auf. Beliebige Geometrien wie konturnahe Kühlkanäle lassen sich mit SLM sehr gut in hochkomplexen Werkzeugen umsetzen. Durch die konturnahe Kühlung von Werkzeugen können verzugsarme Spritzgussteile hergestellt werden. Bauteilausschuss wird so deutlich reduziert.

Mechanisch-technologische Werkstoffkennwerte von CuCr1Zr



Ihr Ansprechpartner  
Vasyl Kashevko  
Telefon: +49 30 314-22413  
kashevko@iwf.tu-berlin.de



# Gut gebaut, Verzug im Griff

## Anlagenentwicklung und In-Situ-Eigen Spannungsmessung am PTZ

**Das Selektive Laserstrahlschmelzen (SLM) gewinnt als additives Fertigungsverfahren zunehmend an Bedeutung in der Industrie. Die Erzeugung beinahe beliebig komplexer Bauteile sowie gute erzielbare mechanische Festigkeitswerte sind vielversprechende Vorteile dieser noch relativ jungen Technologie. Ihre Anwendung in der Serienfertigung wird jedoch bis heute durch die fehlende Prozesssicherheit eingeschränkt. Diese äußert sich unter anderem in Verzug und Rissbildung in den additiv gefertigten Bauteilen, wodurch nicht nur Defekte im Bauteil selbst, sondern auch in der Maschine entstehen. Wissenschaftler am PTZ wollen deshalb mit der Entwicklung einer eigenen SLM-Versuchsanlage ein tieferes Prozesswissen aufbauen, um die Ursachen für diese Phänomene zu minimieren und die Reproduzierbarkeit des Verfahrens zu verbessern.**

Ein Grund für die Entstehung von Verzug und Rissen in additiv gefertigten Bauteilen ist der äußerst dynamische Wärmehaushalt, der sich durch hohe lokale Temperaturgradienten sowie zyklische Aufwärm- und Abkühlphasen während des Fertigungsprozesses ergibt und zu hohen Eigen Spannungen in den Bauteilen führt. Zwar können Eigen Spannungen durch eine geeignete Wahl der Prozessparameter und der Belichtungsstrategie verringert werden. Der Versuchsaufwand zur Parameterfindung kann mitunter jedoch sehr umfangreich sein, da die Fertigungsstrategie mit sich ändernder Bauteilgröße und -geometrie sowie bei Werkstoffwechsel angepasst werden muss. Soll der Versuchsaufwand dauerhaft reduziert werden, ist es unumgänglich den Fertigungsprozess im Detail verstehen und beschreiben zu können und damit schließlich leistungsfähige Simulationstools zu ermöglichen.

### ► Röntgenographische Untersuchungen

Um die Entstehung von Eigen Spannungen während des Selektiven Laserstrahlschmelzens besser zu verstehen, entwickeln Wissenschaftler am Produktionstechnischen Zentrum eine spezielle SLM-Versuchsanlage, mit der erstmals bereits während der Verfestigung der einzelnen Schichten im Prozess der Eigen Spannungszustand mess-

technisch erfasst werden soll. Möglich wird das durch das physikalische Phänomen der Beugung von Röntgenstrahlen an Metallstrukturen. Röntgenstrahlung, die auf einen metallischen Körper trifft, wird abhängig von dessen Verzerrungszustand abgelenkt. Der Ablenkwinkel kann erfasst werden und liefert Rückschlüsse auf die vorherrschenden Eigen Spannungen im Bauteil. Da Röntgenstrahlung jedoch in hohem Maße von Metallen absorbiert wird, ist eine durchgängige Messung der Schichten nur mit hochenergetischer Röntgenstrahlung, wie

sie an externen Elektronenbeschleunigern realisiert werden kann, möglich. Die PTZ-Forscher führen ihre Versuche deshalb am Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY) in Hamburg durch, wo solch ein hochenergetischer Röntgenstrahl vorhanden ist.

Die anspruchsvollen Rahmenbedingungen für die röntgenographischen Experimente erfordern die Umsetzung eines neuartigen Maschinenkonzepts für das Selektive Laserstrahlschmelzen. Dafür ist es unerlässlich, dass die Prozesskammer in Messrichtung

möglichst transparent für eine Röntgenstrahlung gestaltet ist, sodass weitestgehend ungefilterte Messungen mit kurzer Erfassungszeit realisiert werden können. Des Weiteren soll ein Messmodus umgesetzt werden, der es erlaubt, äquidistant zum einfallenden Laserstrahl zu messen. Da der hochenergetische Röntgenstrahl am DESY in Hamburg ortsfest ist, muss dementsprechend die Verfahrenskinetik angepasst werden, sodass letztendlich die Bauplattform die benötigte Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Pulverbett ausführen kann. Die besonderen Randbedingungen erlauben es, quaderförmige Bauteile zu fertigen und diese in situ Schicht für Schicht zu vermessen.

### ► Neues Anlagenkonzept

Das am PTZ entworfene Maschinenkonzept basiert auf dem modularen Grundgerüst einer AconityMINI SLM-Anlage, welche durch eine eigens entwickelte Prozesskammer den Anforderungen entsprechend erweitert wird. Die Steuerungstechnik, Medien- und Energieversorgung sowie der Laser befinden sich in einem separaten Maschinenmodul, das gleichzeitig als Bedienpanel fungiert. Ein weiteres Modul sorgt für die Umwälzung und Filtration der Schutzgasatmosphäre in der Prozesskammer. Das dritte und letzte Modul, die Prozesskammer, bildet das Herzstück der Anlage.

Obwohl sie sich optisch von herkömmlichen SLM-Anlagen unterscheidet, ist sie ihnen funktionell sehr ähnlich. Hinzu kommt: Durch eine zusätzlich integrierte Linearachse kann hier das Pulverbett nicht nur in Höhenrichtung, sondern auch in Längsrichtung der Kammer präzise bewegt werden. Ein- und Austrittsöffnungen für die Röntgenstrahlung sowie die erhöht ausgerichtete Bauplattform sorgen für die notwendige Röntgen Transparenz. Durch den dreiteiligen Aufbau ist die geforderte Mobilität und Kompaktheit der Prozesskammer für den Einsatz am DESY gegeben. Ein weiterer Vorteil: Dem PTZ steht damit ein vielseitig einsetzbares System zur Anlagenentwicklung im Bereich des SLM zur Verfügung, das je nach Forschungs- und Anwendungsbedarf nahezu beliebig modifiziert werden kann.

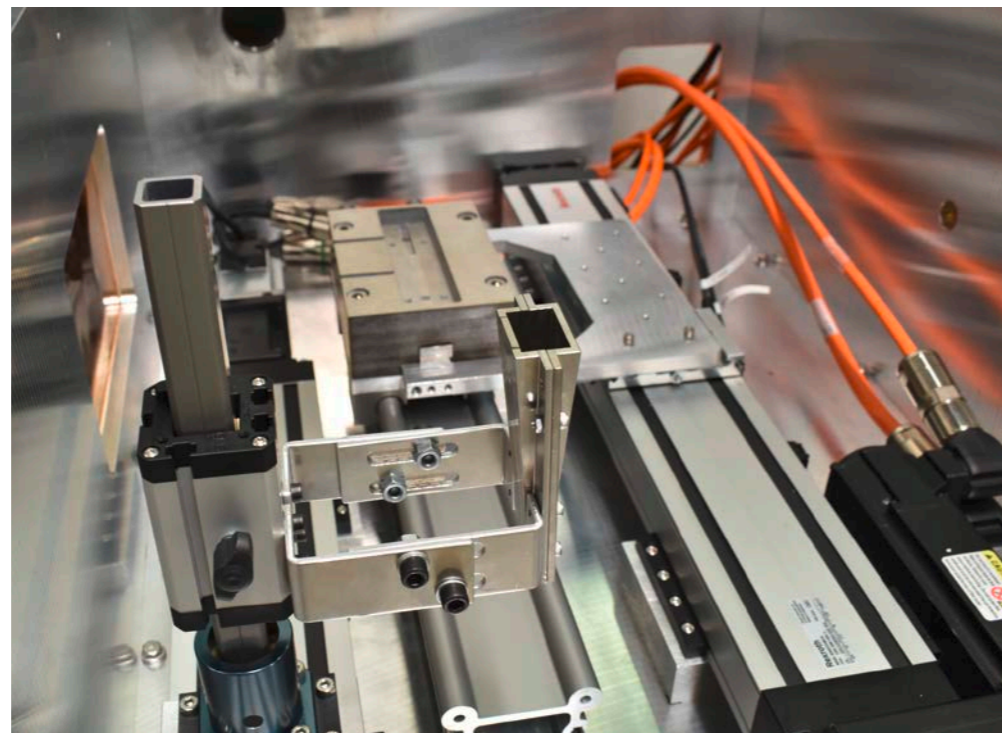
Oberste Maxime der Wissenschaftler ist es, mit der neu entwickelten Versuchsanlage den industriellen SLM-Prozess so nah wie möglich abbilden zu können. Damit soll sichergestellt werden, dass die in Zukunft gewonnenen Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung direkt in den industriellen Einsatz übertragen werden können. In den geplanten Messreihen nach Fertigstellung der SLM-Versuchsanlage sind umfangreiche Untersuchungen zum Einfluss geometrischer Größen, aber auch werkstofftechnischer



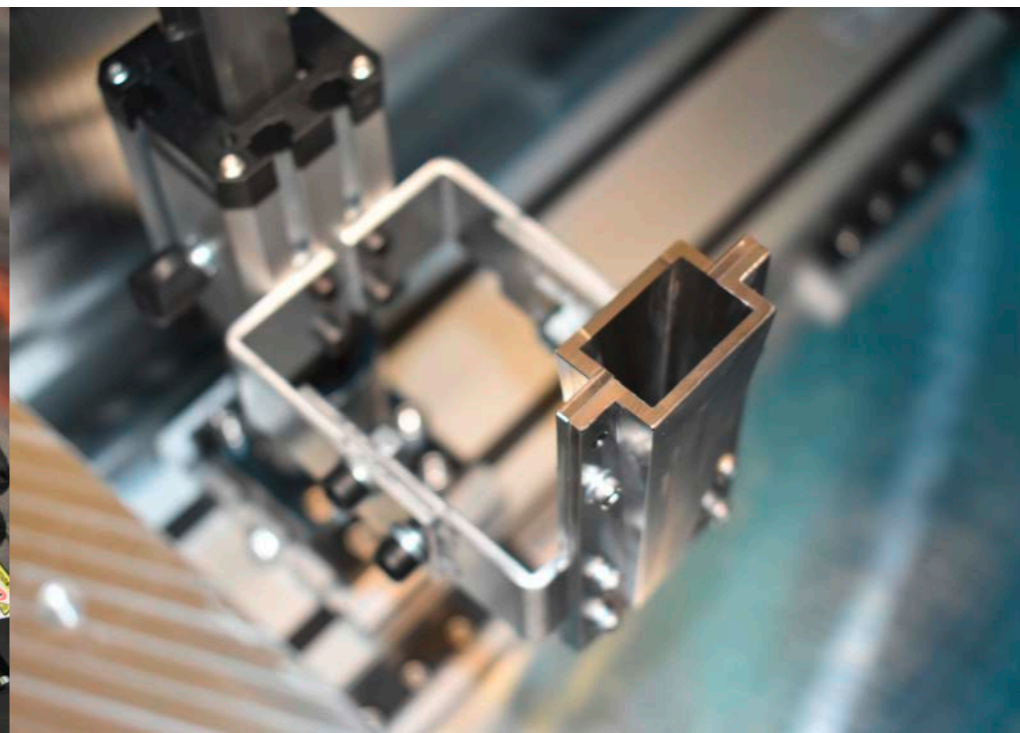
Modulare SLM-Anlage mit Prozesskammereigenbau

Fragstellungen wie Rekristallisationsvorgänge und Phasenumwandlungen im Gefüge auf die Eigen Spannungsentstehung angesetzt. Die Wissenschaftler des PTZ arbeiten dabei eng mit dem Fachgebiet für Metallische Werkstoffe der Technischen Universität Berlin zusammen. Die zu erwartenden Ergebnisse aus den Untersuchungen sollen zur Klärung der funktionalen Zusammenhänge von Prozessparametern und Eigen Spannungszustand beitragen und damit auch eine Grundlage zur Überprüfung und Erweiterung bestehender Ansätze der numerischen Simulation bilden. ■

Blick in die im Aufbau befindliche Prozesskammer zur In-situ-Eigen Spannungsanalyse



Trichter für die Pulverbeschichtung



### Ihr Ansprechpartner

Erwin Krohmer

Telefon: +49 30 314-23293

erwin.krohmer@iwf.tu-berlin.de

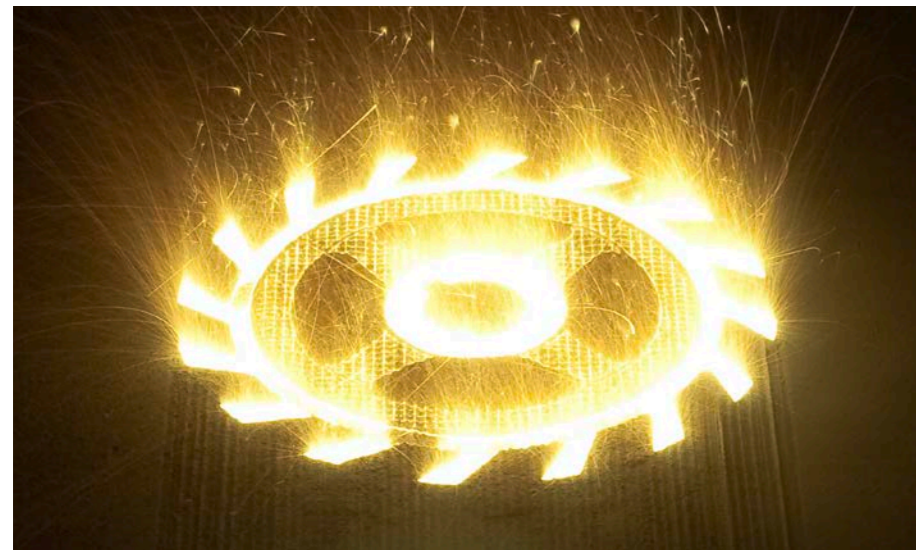


# 3D-Druck für Metalle

## Selektives Laserstrahlschmelzen und Laser-Pulver-Auftragschweißen

Für die additive Verarbeitung von metallischen Werkstoffen haben sich zwei unterschiedliche Verfahrensprinzipien in der Anwendung etabliert. Dazu gehören die Fertigung im Pulverbett mit Verfahren wie dem Selektiven Laserstrahlschmelzen sowie die Fertigung mittels Pulverdüse bei Verfahren wie dem Laser-Pulver-Auftragschweißen. Für industrielle Anwender ist es entscheidend, die jeweiligen Vorteile zu kennen um das optimale Verfahren für die eigenen Anwendungsfälle auszuwählen.

### Additive Fertigung



Belichtung einer Pulverschicht mittels Selektivem Laserstrahlschmelzen

#### ► Selektives Laserstrahlschmelzen

Das Selektive Laserstrahlschmelzen, englisch Selective Laser Melting (SLM), ermöglicht die additive Fertigung von Bauteilen direkt aus einer CAD-Datei. Die Fertigung findet dabei im Pulverbett auf einer Substratplatte statt und besteht aus drei sich wiederholenden Schritten. Im ersten Schritt wird eine Pulverschicht gleichmäßig über der Substratplatte oder der letzten bereits verarbeiteten Schicht aufgebracht. Überschüssiges Pulver wird während des Beschichtungsvorgangs in einen Überlaufbehälter geschoben und kann nach einer Siebung erneut genutzt werden. Im zweiten Schritt erfolgt die Belichtung. Hierbei wird das Metallpulver mittels Laserstrahlung selektiv aufgeschmolzen. Das Pulver ist nach der Erstarrung fest mit der darunter liegenden Lage verbunden.

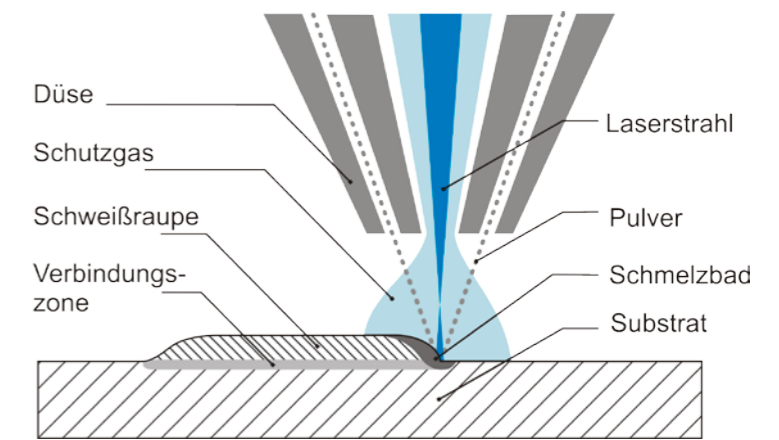
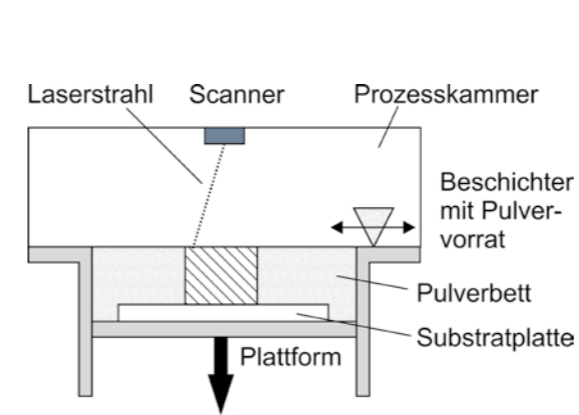
Anschließend wird die Bauteilplattform um eine Schichtdicke abgesenkt und eine neue Pulverschicht aufgebracht. Diese Schritte werden so lang wiederholt, bis das Bauteil komplett gefertigt wurde.

Verarbeitet werden können prinzipiell alle schweißbaren metallischen Werkstoffe. Dazu gehören Edelstähle sowie Titan-, Aluminium-, Kobalt-Chrom- und Nickelbasis-Legierungen. Im Gegensatz zu konventionellen Fertigungsverfahren bietet das SLM-Verfahren eine enorme Gestaltungsfreiheit in der Bauteilgeometrie. So können komplexe Geometrien mit Hohlräumen und Hinterschnitten gefertigt werden. Damit lassen sich mehrere Funktionen in ein einziges Bauteil integrieren.

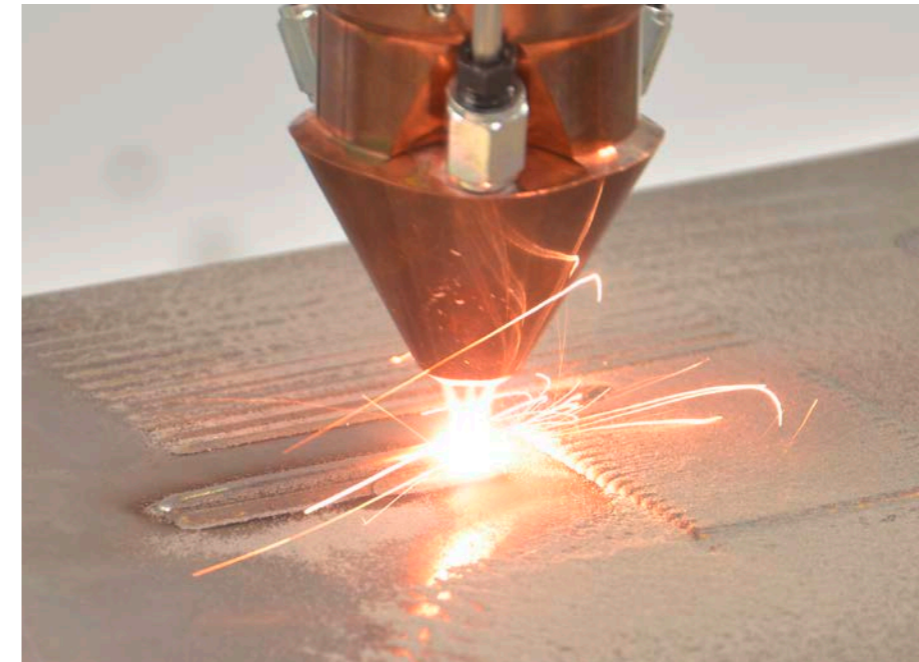
SLM wird derzeit zur Herstellung von Werkzeugen für den Kunststoffspritzguss und Druckguss vielfältig eingesetzt. Auch ist es möglich, sehr filigrane Strukturen für Dental- und Humanimplantate zu fertigen. Die Komplexität des Bauteils hat beim SLM-Verfahren nur einen geringen Einfluss auf die Stückkosten, da diese vor allem volumen- und nicht geometrieabhängig sind. Der Aufbau kompletter Komponenten ist insbesondere für die Turbomaschinenindustrie relevant. Hier werden in der industriellen Anwendung aktuell Gasturbinenbrenner aufgebaut. Speziell in Bereichen mit Bauteilen kleiner Losgrößen und komplexer Geometrien ist das SLM-Verfahren heute schon eine konkurrenzfähige Alternative zu der konventionellen Fertigung.

#### ► Laser-Pulver-Auftragschweißen

Beim Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) wird ein pulverförmiger Zusatzwerkstoff auf ein vorhandenes Bauteil aufgeschweißt. Dabei wird mittels Laserstrahlung ein kleiner Bereich der Oberfläche aufgeschmolzen. Gleichzeitig wird ein pulverförmiger Zusatzwerkstoff in das Schmelzbad eingebracht. Eine lokale Schutzgasabdeckung wird über die Prozessdüse realisiert. Der Zusatzwerkstoff bildet nach Erstarrung eine schmelzmetallurgisch verbundene Schicht auf der Oberfläche des Bauteils. Eine flächige Beschichtung wird durch mehrere nebeneinander aufgetragene Schweißraupen gebildet. Der Aufmischungsgrad von Zusatzwerkstoff und Grundwerkstoff liegt beim Laser-Pulver-



Additive Verfahren: a) Selective Laser Melting, b) Laser-Pulver-Auftragschweißen



Auftragen einer Schweißraupe mittels Laser-Pulver-Auftragschweißen

Auftragschweißen unter 5 Prozent. Diese geringe Vermischung ist vorteilhaft, um die Eigenschaften des Beschichtungswerkstoffes zu erhalten. Für einen additiven Aufbau werden einzelne Lagen übereinander aufgeschweißt.

Das Laser-Pulver-Auftragschweißen bietet aus werkstofftechnischer Sicht zahlreiche Vorteile. Der Wärmeeintrag des Lasers ist gering und lokal stark begrenzt, was zu wenig Verzug und geringer Gefügeschädigung des Grundwerkstoffes führt. Mit der aktuellen Systemtechnik ist es möglich, unterschiedliche Pulver gleichzeitig zu fördern und gemischt dem Schmelzbad

zuzuführen. Dadurch können einstellbare Legierungszusammensetzungen in verschiedenen Schichten erzeugt werden. Im additiven Aufbau besteht so die Möglichkeit die Werkstoffeigenschaften in jeder Lage maßgeschneidert für die jeweilige Anwendung einzustellen.

Von diesen Vorteilen des Laser-Pulver-Auftragschweißens profitieren insbesondere moderne Prozesse im Formen- und Werkzeugbau, im Automobilbau, der Luftfahrtindustrie oder der Energieerzeugung. Neben dem additiven Neuaufbau von Komponenten ist auch die Modifikation oder Reparatur bestehender Bauteile durch zusätzlichen

Materialauftrag möglich. Dies ist insbesondere für Komponenten aus dem Turbomaschinenbau interessant. Hier hat sich der additive Materialauftrag mittels LPA bereits zur Reparatur von Turbinenschaufeln etabliert. Die komplette Fertigung von Schaufelrohlingen ist derzeit Gegenstand aktueller Forschung.

Die FuE-Arbeiten am Fraunhofer IPK konzentrieren sich auf die komplette additive Prozesskette des Selektiven Laserstrahlschmelzens und des Laser-Pulver-Auftragschweißens. Dazu gehören die Erhöhung der Prozesssicherheit und der Wirtschaftlichkeit sowie die Qualitätssicherung. Die anwendungsorientierten Forschungsarbeiten sind dabei eng mit der Grundlagenforschung verknüpft, um neue Erkenntnisse schnell in industriell nutzbare Anwendungen zu überführen. ■

#### Ihr Ansprechpartner

Dr.-Ing. Benjamin Graf  
Telefon: +49 30 39006-374  
benjamin.graf@ipk.fraunhofer.de



## Das Beste aus zwei Verfahren

### Hybrider Aufbau additiver Bauteile

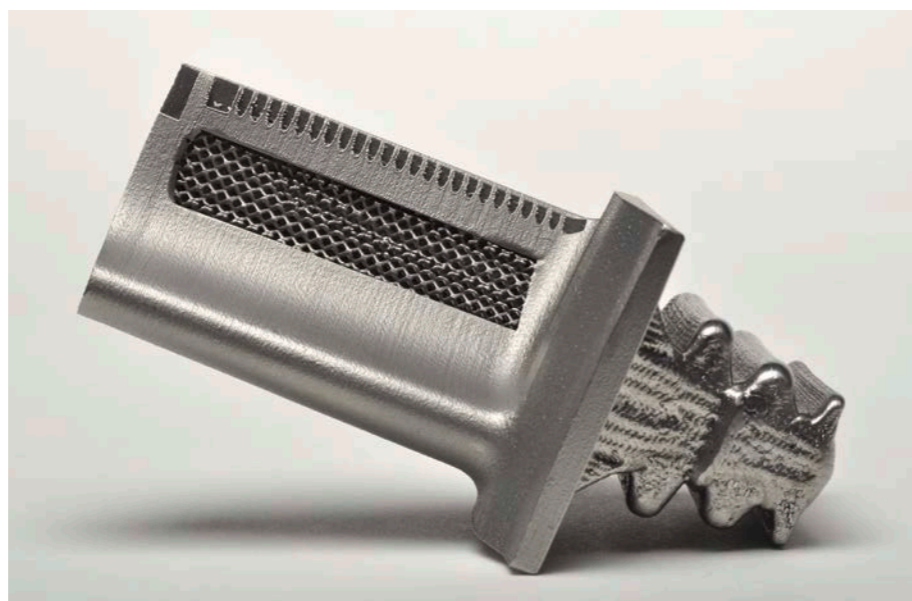
Die Fertigung im Pulverbett mit Selektivem Laserstrahlschmelzen (SLM) ermöglicht es, Komponenten mit hoher geometrischer Komplexität mit großer Genauigkeit herzustellen. Im Gegensatz dazu bietet der additive Aufbau mittels Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) große Aufbauraten. Das Verfahren eignet sich allerdings eher für geometrisch einfache Körper. Um die jeweiligen Vorteile des SLM- und LPA-Verfahrens gemeinsam zu nutzen, untersuchen Wissenschaftler am Fraunhofer IPK den hybriden Aufbau additiver Komponenten mit beiden Technologien und entwickeln dafür geeignete Baustrategien.

#### ► Geschwindigkeit und Präzision

Ein hybrider Aufbau mittels Selektivem Laserstrahlschmelzen und Laser-Pulver-Auftragschweißen hat das Potenzial, sowohl die große Präzision des SLM-Aufbaus als auch die hohen LPA-Aufbauraten zu nutzen. Deshalb ist die Untersuchung einer SLM-LPA-Prozesskette Gegenstand der Forschungsarbeiten am Fraunhofer IPK. Die Auslegung einer LPA-Baustrategie für die Weiterbearbeitung von SLM-Komponenten zielt dabei darauf ab, qualitativ hochwertige Bauteile mit großer Formgenauigkeit zu fertigen.

Für die Gestaltung einer optimalen Aufbaustrategie ist die konkrete Bauteilgeometrie zu beachten. Relevant sind hier insbesondere die Steifigkeit und die Fähigkeit zur Wärmeabfuhr im SLM-Bauteil. Zudem erleichtert eine ebene Anbindungszone den Folgeprozess. Typische mit SLM gefertigte Gitterstrukturen weisen eine geringe Masse auf. Dies ist im Sinne des Leichtbaus auch so gewünscht. Bei einer Weiterbearbeitung mittels LPA kann das jedoch zu einem Wärmestau führen. Steigende Temperaturen verursachen dann vergrößerte Schmelzbäder, die letztlich den LPA-Prozess verändern und zu einem ungewollten Abschmelzen der SLM-Bauteilkanten führen können.

Zur Vermeidung einer abschmelzenden Bauteilkante muss die Aufbaustrategie so gestaltet werden, dass der Verfahrensweg des LPA-Auftrages mit ausreichendem Abstand zur



Aufbau einer Turbinenschaufel mittels SLM (Schaufelblatt) und LPA (Tannenbaumprofil)

SLM-Bauteilkante durchgeführt wird. Alternativ ist entlang der Kontur ein Parameterset mit geringem Energieeintrag und kleinem Schmelzbad vorteilhaft, um die Kante des SLM-Substrates zu erhalten. Während des LPA-Aufbaus von Volumen können dagegen höhere Energieeinträge zur Steigerung der Aufbauraten gewählt werden. Weiterhin lassen sich durch die Einhaltung von Abkühlzeiten zwischen einzelnen Lagen reproduzierbare Bedingungen für den LPA-Auftrag schaffen.

Um einen Verzug der SLM-Gitterstrukturen durch den LPA-Materialauftrag zu vermeiden, ist eine ausreichende Steifigkeit wichtig. Üblicherweise ist diese durch SLM-Git-

terstrukturen gegeben. Eine Vermeidung von Verzug kann zudem durch die Baustrategie unterstützt werden. Hier gilt es, die Verfahrenswege, also die Schweißreihenfolge, zu optimieren.

#### ► Hybride Turbinenschaufel

Am Fraunhofer IPK wurde im Rahmen der FuE-Arbeiten eine mit der kombinierten SLM-LPA-Prozesskette aufgebaute Turbinenschaufel realisiert. Der Prototyp weist im Schaufelblatt komplexe Strukturen auf, die für Demonstrationszwecke durch typische SLM-Gitter umgesetzt wurden. Der Aufbau des Tannenbaumprofils erfolgt mittels LPA. Für diese vergleichsweise einfache Geometrie kann hier die hohe Aufbauraten des LPA-



LPA-Materialauftrag auf einen SLM-gefertigten Gasturbinenbrenner

Prozesses genutzt werden. Die Aufbaustrategie beinhaltet dabei zunächst die Fertigung des inneren Volumens, bevor die einzelnen Zapfen mit einem angepassten Parametersatz aufgebaut werden.

Beim Auftragschweißen auf einen SLM-gefertigten Gasturbinenbrenner dient der additive LPA-Materialauftrag dem Aufbau des Anschlussstückes. Die Aufbaustrategie nutzt dabei die Tatsache, dass durch die Symmetrie ein gleichmäßiger Energieeintrag in das Substrat stattfindet. In diesem Fall bietet der SLM-Körper genügend Volumen zur Ableitung der Wärme, weshalb die LPA-Schweißraupen konturnah geführt werden können.

#### ► Hybrider Aufbau – ja oder nein?

Ob die kombinierte SLM-LPA-Fertigung für konkrete industrielle Bauteile geeignet ist, können Anwender anhand verschiedener Kriterien beurteilen. Im Hinblick auf die Geometriekomplexität ist die kombinierte Prozesskette dann sinnvoll, wenn das Bauteil sowohl einfache als auch komplexe Geometrien besitzt. In diesem Fall können beide Technologien ihre jeweiligen Vorteile ausspielen. In Bezug auf die Geometrie der Verbindungszone sollte das SLM-Substrat eine möglichst einfache Fläche mit guter Wärmeabfuhr für den LPA-Aufbau bereitstellen. Da der LPA-Prozess Verzug im SLM-Substrat erzeugen kann, ist zudem eine ausreichende Steifigkeit des SLM-Teiles wichtig, um die-

sen Verzug möglichst gering zu halten. Ein weiteres Indiz sind die Stückzahlen: Die hohe Aufbauraten des LPA-Prozesses kann voll genutzt werden, wenn mehrere Bauteile parallel aufgebaut werden. Dadurch kann der Schweißprozess während der Abkühlzeiten eines Bauteiles auf dem nächsten Volumen fortgesetzt werden. Die kombinierte Prozesskette ist daher besonders ab einer Kleinserienproduktion von Vorteil.

Ein Vergleich der am Fraunhofer IPK entwickelten Prozesskette mit den am Markt vorhandenen Alternativen zeigt das Marktpotenzial der hybriden Technologie auf. Eine Fertigung mit SLM, LPA oder anderen Einzelprozessen kann bereits bei Einzelteilen wirtschaftlich angewendet werden. Die kombinierte Prozesskette erfordert zwar einen erhöhten Aufwand bei der Vorbereitung der Fertigung. Dieser lohnt sich aber wirtschaftlich aufgrund der höheren Fertigungsgeschwindigkeit ab einer bestimmten Stückzahl. Das Marktpotenzial der hybriden Prozesskette liegt deshalb in der Kleinserienfertigung, z. B. von Turbinenschaufeln. ■

#### Ihr Ansprechpartner

Dr.-Ing. Benjamin Graf  
Telefon: +49 30 39006-374  
benjamin.graf@ipk.fraunhofer.de



Additive Fertigung

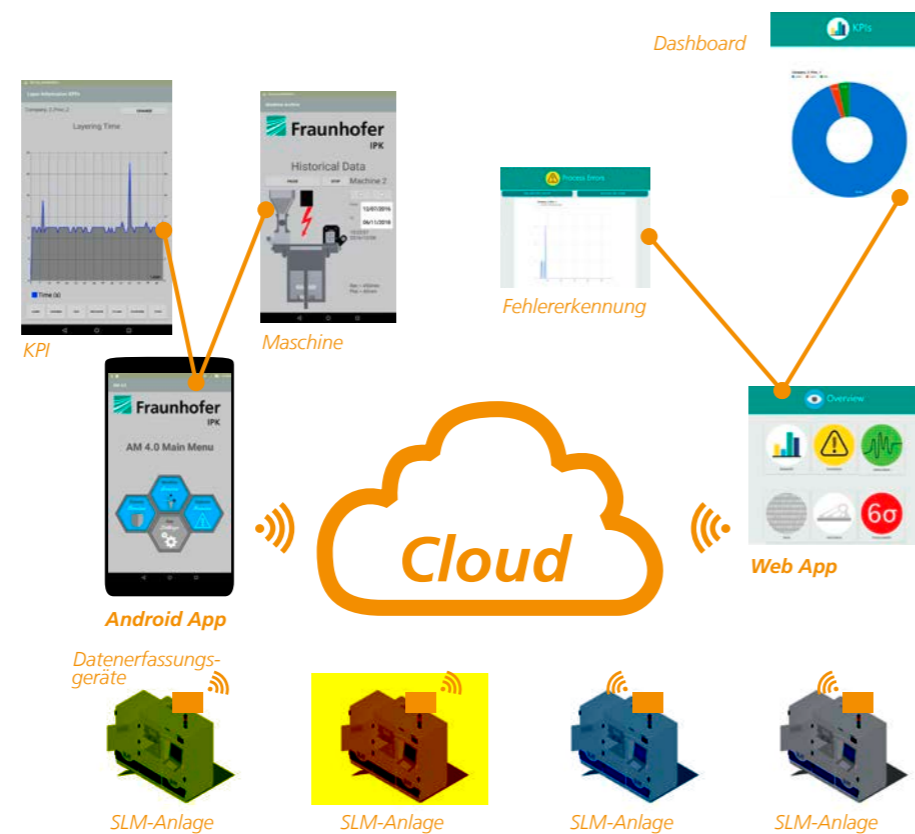
# AM 4.0

## Mobile App für die Qualitätssicherung

Mit additiven Fertigungstechnologien lassen sich funktionale, kundenspezifische Komponenten nicht nur als Prototypen herstellen, die konventionell nicht zu fertigen sind, sondern sie ermöglichen auch die Komponentenfertigung in kleinen Serien. Für den Einsatz additiver Fertigungstechnologien in der Produktion ist es für Unternehmen extrem wichtig, fehlerfreie Komponenten mit konstanter Qualität zu fertigen und den Prozess kontinuierlich zu überwachen. Eine am Fraunhofer IPK entwickelte App für die kennzahlenbasierte Prozessüberwachung bietet die Möglichkeit, bereits während der Herstellung von Funktionsbauteilen deren Qualität zu bewerten.

Der intensive Einsatz von additiven Fertigungsverfahren zur Herstellung komplexer Funktionsbauteile in mehreren Industriesektoren hat gezeigt, dass die heutigen Maschinen nicht in der Lage sind, eine ausreichende Produktqualität zu gewährleisten. Ein Grund dafür ist häufig die Steuerungssoftware, die Fehler im Fertigungsprozess verursacht. Solche Fehler beeinflussen entweder die Zeit bis zur Herstellung eines Bauteils oder dessen Qualität. Eine verbesserte Qualitätssicherung ist deshalb das Ziel von FuE-Arbeiten am Fraunhofer IPK.

Mit »Additive Manufacturing AM 4.0« wurde eine mobile App entwickelt, die eine dezentrale Online-Prozess- und Maschinenüberwachung ermöglicht und Anlagenbetreiber dabei unterstützt, schnell auf Prozesssituationen zu reagieren, die die Qualität eines Bauteils beeinträchtigen können. Um solche Störungen während eines Fertigungsprozesses rasch zu erkennen, werden Daten von Sensoren und von der Maschinensteuerung abgelesen, aufbereitet und während der Generierung in die Cloud übertragen. Auf die hier bearbeiteten Daten und extrahierten Informationen greift dann die App »AM 4.0« zu. Mit ihrer Hilfe können Maschinenbediener bestimmte Key-Performance-Indikatoren während eines Fertigungsprozesses schrittweise verfolgen, abweichende Trendverläufe dieser Indikatoren frühzeitig vor Eintreten eines Fehlers erkennen und

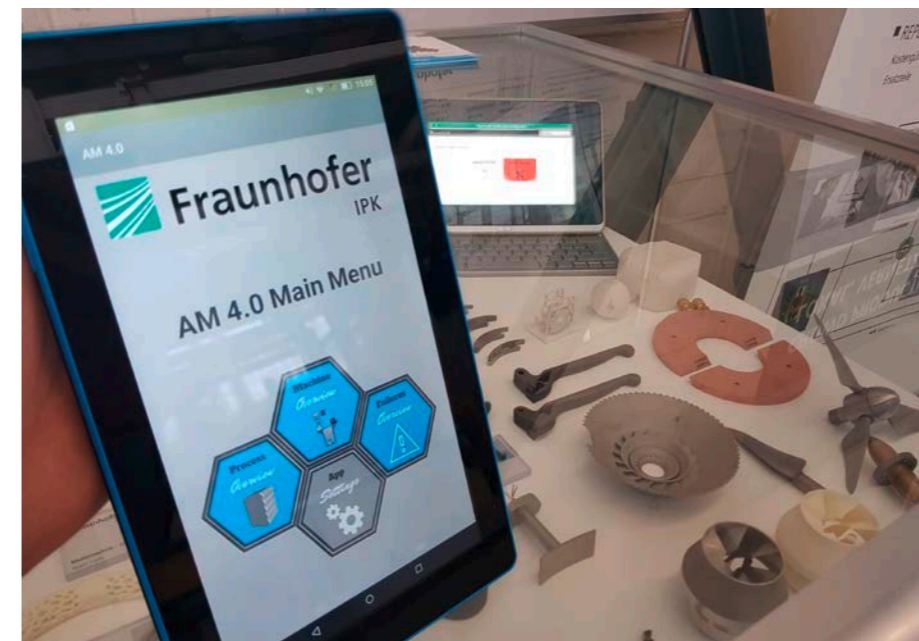


Struktur der Maschinendatenerfassung und Visualisierung der Maschineninformationen

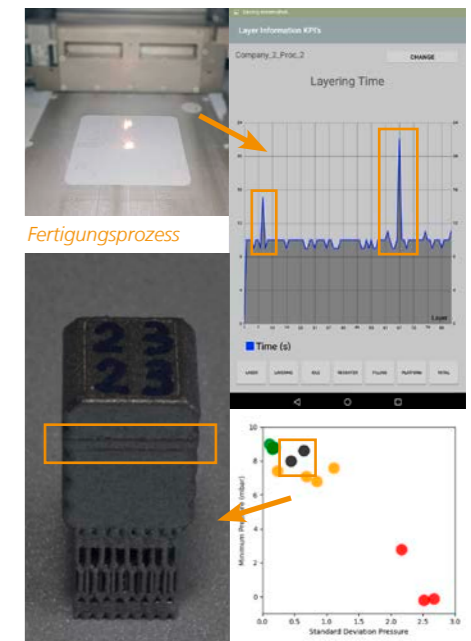
schneller fundierte Entscheidungen treffen. Durch den Einsatz maschineller Lernalgorithmen können außerdem unterschiedliche Betriebsbereiche einer Maschine identifiziert und beobachtet werden. Darüber hinaus können die Maschinentoleranzen durch Echtzeitdaten definiert und die Prozessfähigkeit berechnet werden. So wird zum Beispiel deutlich, welches Subsystem schlecht arbeitet.

### ► Online-Überwachung beim Laserstrahlschmelzen

Um die Online-Zustandsüberwachung von Maschine und Prozess zu testen, haben die Fraunhofer-Wissenschaftler die App an eine Laserstrahlschmelzanlage (SLM-Anlage) angeschlossen. Neben den Key-Performance-Indikatoren und dem daraus abgeleiteten Zustand von Maschine und Prozess stellt die App auch Informationen bezüglich



AM 4.0 App (links) und Identifikation von Schichtenfehler mittels Datenanalyse (rechts)



Bauteil Datenanalyse

Herstellungszeit, Stillstandszeit und Anzahl der aufgetretenen Fehler zur Verfügung. Da das Laserstrahlschmelzen ein Prozess ist, der schichtweise erfolgt, werden aufgetretene Fehler den betreffenden Schichten zugeordnet. Zusätzlich wird angegeben, in welcher Weise die Fehler verteilt sind und welche Schwere die einzelnen Fehler besitzen. Das vereinfacht die Identifikation, die Bewertung und das Nachverfolgen eines Fehlers in der betroffenen Schicht. Die dazugehörigen Analysen werden in der App übersichtlich graphisch dargestellt und können mit den vorgegebenen Produktionsspezifikationen verglichen werden. Aus den Daten der maschinenspezifischen Sensoren, z. B. zur Überwachung der Temperatur der Plattform und der optischen Bank sowie des Drucks und des Sauerstoffgehalts im Prozessraum, werden Tendenzen identifiziert, die auf die Entwicklung einer Störung hinweisen. Maschinenbediener können dann rechtzeitig Gegenmaßnahmen einleiten.

### ► Dezentralisierte Analyse und Reportgenerierung im Shopfloor

Der große Vorteil der App: Sie ist nicht nur auf ein Maschinensystem beschränkt. Auch mehrere Maschinen im Shopfloor können eingebunden werden, aus deren Prozess-, Maschinen- und Sensordaten dann in der Cloud objektive Aussagen über Prozess- und

Maschinenfähigkeiten sowie Maschinenverfügbarkeit getroffen werden können. Die ermittelten Informationen und Ergebnisse der Analysen können in einem generierten individualisierbaren Report dokumentiert werden. Dieser beinhaltet alle wichtigen Informationen zu den einzelnen Maschinen und Fertigungsprozessen.

Aktuell arbeiten die Fraunhofer-Forscher daran, die App in verschiedene Maschinenmodelle unterschiedlicher Hersteller zu integrieren. Ziel ist es, Fehler in der Produktion frühzeitig zu identifizieren, zu klassifizieren und zu interpretieren. Durch die Korrelation der Ergebnisse aus den Datenanalysen mit der Bauteilqualität wird außerdem eine Datenbasis für den Einsatz von Methoden des maschinellen Lernens geschaffen. Auf einer geeigneten IoT-Plattform können mittels maschineller Lernalgorithmen Modelle zum Erkennen von Bauteil-, Prozess- und Maschinenfehlern erzeugt und Gegenmaßnahmen automatisiert initiiert werden.

### ► Additive Serienproduktion

Außerdem erforschen die Ingenieure, inwiefern eine Insitu-Regelung von Fertigungsprozessen dazu geeignet ist, eine Produktion von Bauteilen in definierter Qualität in der Serie zu ermöglichen. Wie sich auch aus großen Datenmengen, z. B. aus einer

Monats- oder Jahresproduktion, Instandhaltungsbedarf frühzeitig erkennen und im Produktionsablauf einplanen lässt, muss dabei noch geklärt werden. »Predictive Maintenance«, also eine vorausschauende Wartung kann hier zukünftig zum effizienten Einsatz von Maschinen in der Serienfertigung beitragen.

»Additive Manufacturing AM 4.0« unterstützt Anwender schon jetzt dabei, die endgültige Qualität eines gefertigten Werkstücks vorherzusehen, indem sie Fehler online verfolgt. Damit hilft die App Unternehmen, Produktionsausfälle zu vermeiden, damit verbundene Kosten zu reduzieren und im Gegenzug die Produktqualität zu erhöhen und die Produktion zu beschleunigen. ■

Autor: Dr.-Ing. Rodrigo Pastl Pontes

#### Ihre Ansprechpartner

Claudio Geisert  
Telefon: +49 30 39006-133  
claudio.geisert@ipk.fraunhofer.de

Eckhard Hohwieler  
Telefon: +49 30 39006-121  
eckhard.hohwieler@ipk.fraunhofer.de



## Sicher und robust Qualitätsmanagement in der additiven Produktion

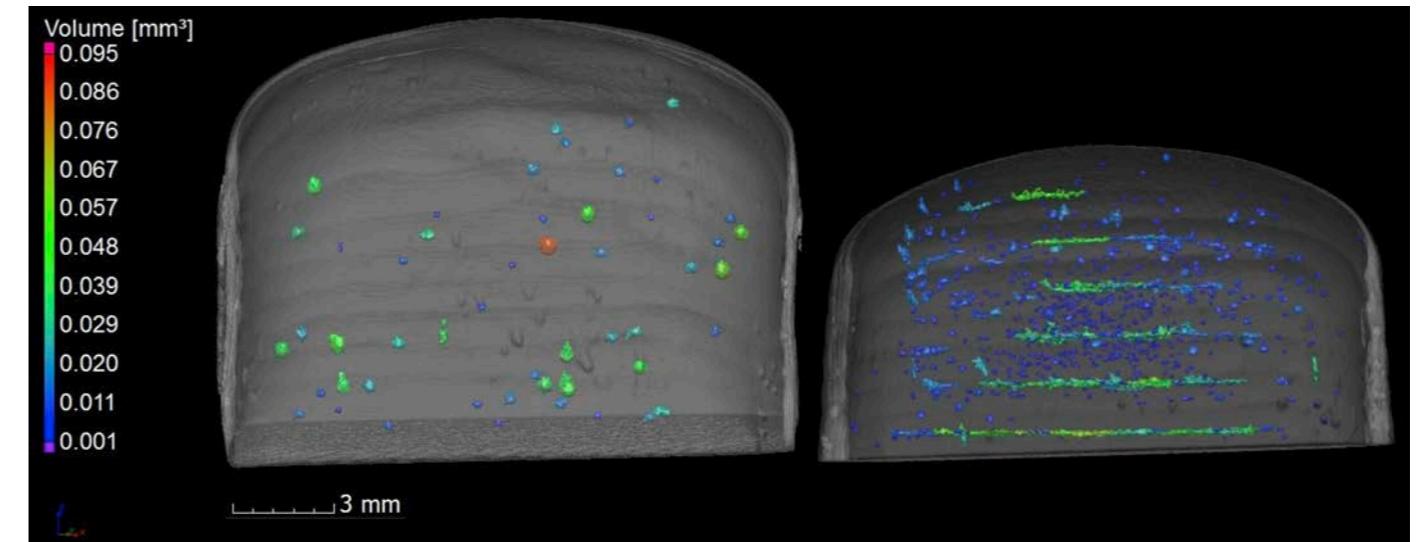
In der Luft- und Raumfahrt, im Turbinenbau und in der Medizintechnik setzen Unternehmen additive Technologien bereits serienmäßig ein. Prozesssicherheit und Qualitätssicherung gelten jedoch nach wie vor als große Herausforderungen. Speziell im Bereich der metallbasierten additiven Fertigungsverfahren beeinträchtigen qualitätsrelevante Kriterien wie eine ungenügende Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, mangelhafte Oberflächengüte und Genauigkeit sowie das Spektrum der zu verarbeitenden Materialien eine breitere Marktdurchdringung. Im Projekt »Qualitätsmanagement für die sichere und robuste additive Produktion – QualiPro« entwickelt das Fraunhofer IPK deshalb Qualitätsroutinen für additive Technologien, um sie fit für ein breites Spektrum an Anwendungen zu machen.

Mit additiven Verfahren wie dem Selektiven Laserstrahlschmelzen (SLM) und dem Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) können viele metallische Legierungen und Kunststoffe verarbeitet werden. Dabei werden Anwendungsfelder von der individuellen Fertigung bis hin zur Kleinserie bedient. Typische Qualitätsfehler bei solchen Prozessen sind Poren, feine Löcher, mangelhafte Anbindung, Spritzer und Mikrorisse in einer Schichtebene. Zwar gibt es einige Insellösungen für partielle Prozessüberwachungen. Eine umfassende Qualitätskontrolle ist bisher jedoch nicht möglich, da vor allem der Zusammenhang zwischen den Produktionsdaten und der Bauteilqualität unbekannt ist.

Im Projekt »QualiPro« entwickelt das Fraunhofer IPK deshalb gemeinsam mit drei weiteren Fraunhofer-Instituten, der TU Dresden sowie sechs Industriepartnern Qualitätsroutinen entlang der additiven Prozesskette. Ziel ist es, additive Prozesse mithilfe verlässlicher Aussagen über die mechanischen Eigenschaften der gefertigten Bauteile sicher zu gestalten. Dafür erfolgt eine durchgängige Datenaufnahme entlang der additiven Prozesskette und eine Verknüpfung dieser Daten mit der erzielten Bauteilqualität. Aus den Erkenntnissen können anschließend Maßnahmen zur Optimierung der additiven Produktion abgeleitet werden.

### ► Vorgelagerte Qualitätssicherung

Die Qualitätsroutine der Fraunhofer-Forscher setzt ein, noch bevor der eigentliche Prozess beginnt. Bereits jetzt gilt es, die ersten Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Dazu müssen in erster Linie Fragen bezüglich des Vormaterials geklärt werden. Besitzt das vorgesehene Pulver die benötigten Eigenschaften hinsichtlich Korngröße, Partikelform und Zusammensetzung? Wie lange kann das dem Prozess zugeführte Pulver weiterverwendet werden? Durch einheitlich durchgeführte Pulverqualitätsanalysen kann sichergestellt werden, dass eine gleichbleibend gute Qualität als Eingangsgröße in den Prozess eingebracht wird und eventu-



CT-Aufnahmen additiv gefertigter Würfel zur Bestimmung der Dichte

elle Fehler nicht durch minderwertiges Pulver verursacht werden. Angestrebt wird hierfür die Erstellung einer entsprechenden Norm, die auch das Vertrauen zwischen Lieferanten und Endkunden stärkt.

### ► Inline-Qualitätssicherung

Für eine funktionierende In-Prozess-Überwachung untersuchen die Wissenschaftler Zusammenhänge zwischen Störgrößen und Bauteilqualität, um Standards für die Vermeidung von Unregelmäßigkeiten zu entwickeln. Dazu erarbeiten sie vor allem auch Automatisierungslösungen für die Dokumentation des Herstellungsprozesses und der Rückverfolgbarkeit der Daten. Mithilfe von Design of Experiments und neuronalen Netzen untersuchen sie dafür zunächst die Signifikanz aller relevanten Prozesseinflussgrößen im Hinblick auf die vorab festgelegten Qualitätskriterien. Auf Basis dieses Wissens werden Überwachungsstrategien, einschließlich geeigneter Sensoren ausgewählt. Die damit generierten Messdaten werden zusammen mit den internen Steuerungsdaten in einer Messkette für die Zustandsüberwachung zusammengeführt. Die Auswertung der Messdaten erfolgt mit einer im Rahmen des Projekts noch zu entwickelnden Software und wird durch eine bauteilbezogene Qualitätsdokumentation ergänzt.

### ► Nachgelagerte Qualitätssicherung

Für die nachgelagerte Qualitätssicherung entwickeln die Fraunhofer-Forscher Prüfroutinen im Hinblick auf die Maßhaltigkeit und Defektfreiheit der gefertigten Bauteile und Komponenten. In automatischen 3D-Messungen wird ein Soll-Ist-Wert-Vergleich durchgeführt, aus dem sich dann die benötigten Parameter für eine NC-Nachbearbeitung ergeben. Bei sensiblen Bauteilen werden hier beispielsweise CT-Prüfverfahren zur Bestimmung von Volumen, Poren und Unregelmäßigkeiten eingesetzt.

### ► Datenmanagement

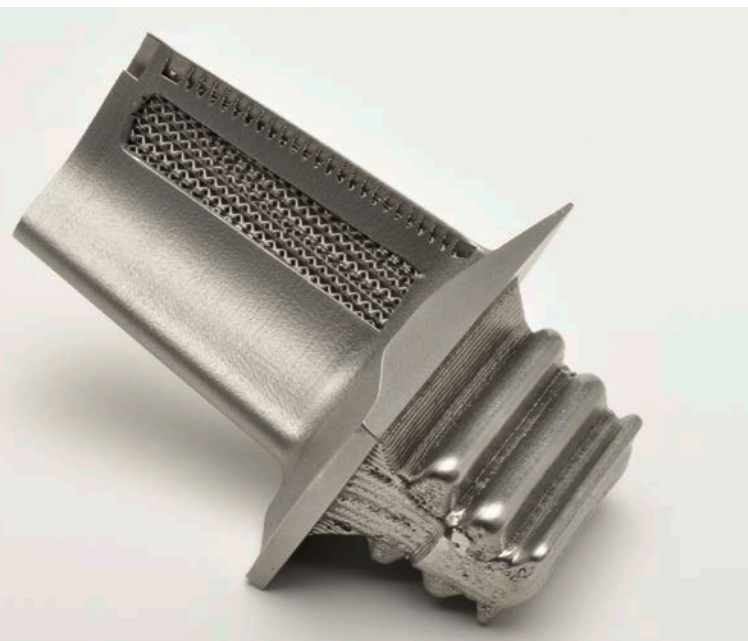
Die im additiven Prozess aufgenommenen Daten können nicht nur zur Regelung und Qualifizierung von Bauteilen eingesetzt werden. Durch ein effektives Datenmanagement können über verschiedenste Analysemethoden auch Veränderungen im zeitlichen Verlauf der Prozessfähigkeit erfasst und so Rückschlüsse auf die Prozessstabilität gezogen werden. Darüber hinaus lassen sich so beispielsweise auch Aussagen über den Wartungszustand einer Anlage treffen. Auf diese Weise können Probleme präventiv erkannt und entsprechende Gegenmaßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden – lange bevor es zu unzulässigen Prozessabweichungen und gravierenden Qualitätsmängeln kommt. Ein effektives Datenmanagement schafft damit wesentliche Vorteile in Bezug

auf Effizienz und Produktivität in der additiven Fertigung.

### ► Standards schaffen

Mit ihren anwendungsnahen Lösungen für Qualitätsroutinen in der additiven Fertigung wollen die Fraunhofer-Forscher eine robuste Serienproduktion ermöglichen, vor allem auch in Branchen mit extrem hohen Qualitätsansprüchen wie dem Automobilbau. Hier ist eine funktionierende Qualitätssicherung gleichermaßen die Basis für sichere Prozesse und Produkte. Dazu trägt neben der nötigen Sensorik auch der Einsatz von Technologiedatenbanken und die Standardisierung von Abläufen sowohl in der Herstellung als auch im Qualitätsmanagement bei. Perspektivisch wollen die Wissenschaftler deshalb auch die Grundlage für eine Zertifizierung additiver Technologien schaffen. ■

Additiv gefertigte Turbinenschaufel (links) und SLM-gefertigte Gitterstruktur (rechts)



#### Ihre Ansprechpartnerin

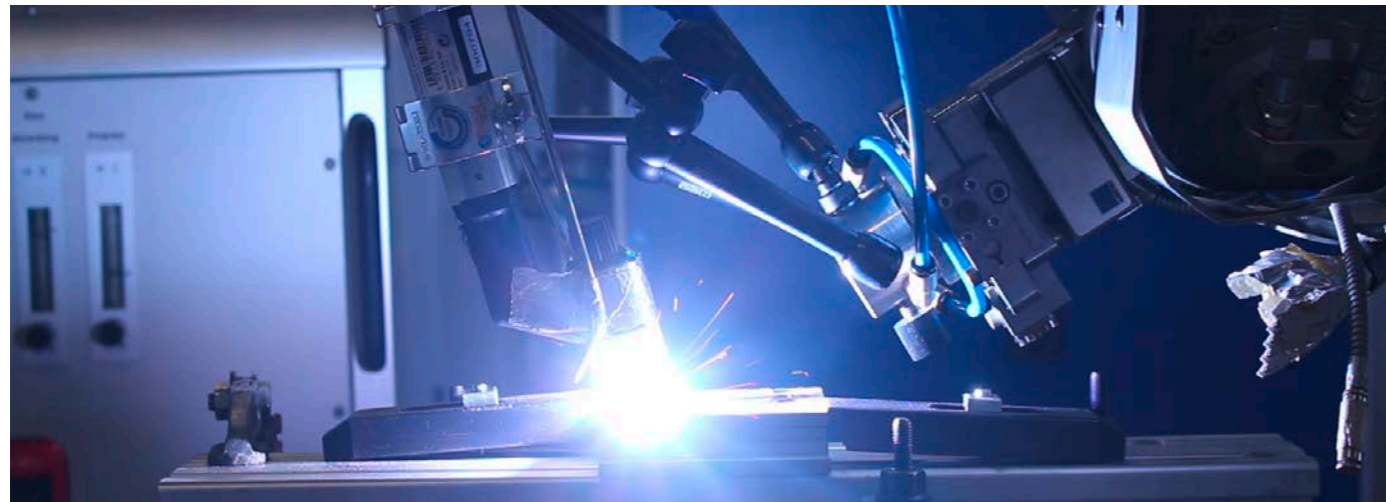
Angelina Marko  
Telefon: +49 30 39006-372  
angelina.marko@ipk.fraunhofer.de



# Schnelle Prototypen

## Additive Fertigung als Werkzeug in Entwicklungsprojekten

Die additive Fertigung ermöglicht die direkte Herstellung von Bauteilen in komplexen Geometrievarianten. In Entwicklungsprojekten lässt sich diese Eigenschaft ideal nutzen, um mittels additivem Aufbau unterschiedliche konstruktive Lösungen schnell bereitzustellen und anschließend im praktischen Einsatz zu prüfen. Dieses Vorgehen nutzt das Fraunhofer IPK aktuell bei der Entwicklung einer neuen Prozesskombination für effiziente metallische Beschichtungen.



Mit SLM gedruckte Düse im Praxiseinsatz beim Laser-Plasma-Auftragschweißen

### ► Laser-Plasma-Hybridschweißen

Das Auftragschweißen von Draht, Pulver oder anderen metallischen Zusatzwerkstoffen wird in unterschiedlichen Branchen zur Instandsetzung oder zum Beschichten von stark beanspruchten Bauteilen eingesetzt. So erfordert beispielsweise in der Bergbauindustrie der ständige Einsatz von Abräumwerkzeugen eine Verschleißschutzbeschichtung, die eine dauerhaft wirtschaftliche Nutzung der Maschinen ermöglicht. Für den Schutz vor starkem abrasiven Verschleiß oder vor korrosiven Medien sowie für das Auftragen einer Pufferlage wird bisher entweder das Laser-Pulver-Auftragschweißen oder das Plasma-Pulver-Auftragschweißen verwendet. Während das Laser-Pulver-Auftragschweißen eine geringe thermische Belastung verspricht, ermöglicht das Plasma-Pulver-Auftragschweißen hohe Auftragsraten. Wis-

senschaftler des Fraunhofer IPK vereinen jetzt die Vorteile der beiden Technologien und erarbeiten mit dem Laser-Plasma-Hybridschweißen eine neuartige Verfahrenskombination sowie die dazugehörigen Düsenkonzepte, die eine hohe Qualität und Effizienz garantieren. So kann beispielsweise die punktgenaue Energie der Laserstrahlung den Plasmalichtbogen stabilisieren und den Wärmeeintrag in das Bauteil besser kontrollieren. Das Projekt wird im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) über die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS gefördert und hat eine Laufzeit bis Mitte 2019.

### ► Additiv gefertigte Komponenten

Für den Einsatz des Plasmalichtbogens in Kombination mit einem Laser musste das

Projektteam eine neuartige hybride Düse für den Plasmabrenner herstellen. Die Wissenschaftler entschieden sich für die additive Technologie des pulverbettbasierten Selektiven Laserstrahlschmelzens (SLM), um unterschiedliche Düsenvarianten zu produzieren und zu testen. Aufgrund der hohen Temperaturen durch den Plasmalichtbogen müssen die Düsen zum Beispiel eine gute Wärmeableitung aufweisen. Dies wird durch die konstruktive Gestaltung mit innenliegenden spiralförmigen Kühlkanälen umgesetzt. Die geometrische Gestaltungsfreiheit im additiven Aufbau erlaubt es hierbei, die Kanäle eng an den am stärksten belasteten Bereichen zu positionieren und somit eine effiziente Kühlung zu gewährleisten.

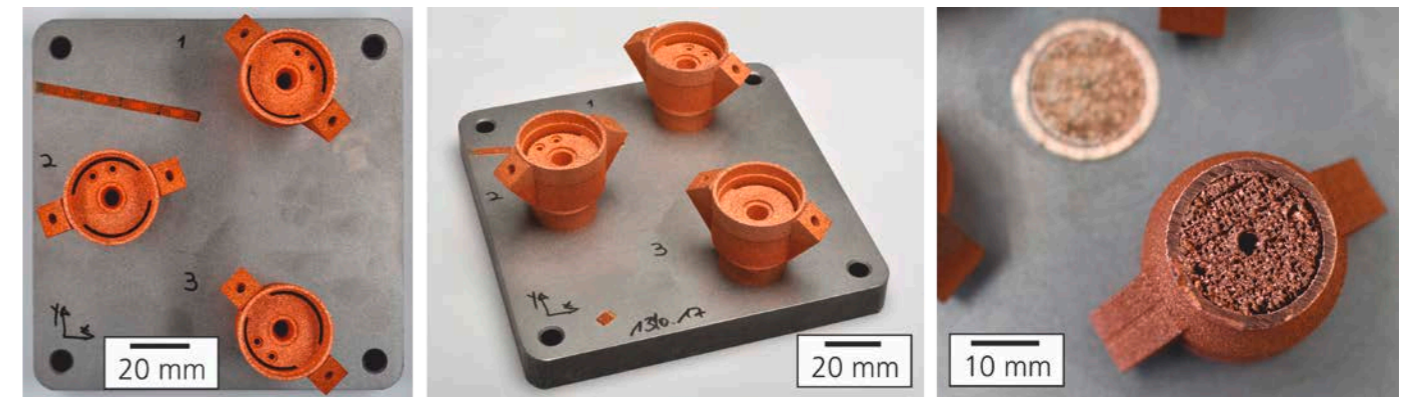
Als Werkstoff für die Plasmadüse wählten die Fraunhofer-Forscher aufgrund der

hohen Wärmeleitfähigkeit eine härtbare Kupferlegierung. Sie weist eine hohe Festigkeit auch bei hohen Temperaturen auf, wodurch eine gute Verschleißbeständigkeit für die Düse erwartet werden kann. Die starke Wärmeabfuhr und der geringe Absorptionsgrad der Legierung stellen aber auch eine große Herausforderung für die prozessichere additive Fertigung im SLM-Verfahren dar. Geeignete Prozessparameter konnten deshalb nur durch eine Vielzahl von Vorversuchen identifiziert werden. Im Ergebnis gelang es den Ingenieuren, voll einsatzfähige additive Komponenten zu fertigen, die die komplexen Prozessanforderungen des Laser-Plasma-Hybridschweißens erfüllen.

### ► Hybride Düse für den Plasmabrenner

Im praktischen Einsatz werden die Vorzüge der additiv gefertigten Plasmadüse deutlich. Der Pulverstrahl ist mittig auf den Eingriffspunkt des Plasmalichtbogens ausgerichtet. Pilot- und Hauptlichtbogen zünden zuverlässig. Im Vergleich zu konventionell hergestellten Plasmadüsen wird ein ebenso stabiles wie gleichmäßiges Brennen des Lichtbogens erreicht. Die erhöhte Oberflächenrauheit der additiv gefertigten Düse hat hier keinen sichtbaren Einfluss. Schweißversuche und Messungen der Strahlcharakteristik bestätigen die sehr gute Performance der neuen Plasmadüse.

Neben der Entwicklung der neuen Verfahrenskombination Laser-Hybrid-Plasma-schweißen konnten die Fraunhofer-Ingenieure mit diesem Projekt unter Beweis stellen, dass sich die additive Fertigung vom Rapid Prototyping der frühen Anfänge hin zu einem effektiven Herstellungsverfahren für industrielle Kleinserien gemausert hat. Das Selektive Laserstrahlschmelzen hat sich dabei speziell bei der Herstellung hochkomplexer Schweißdüsen aus schwer zu verarbeitenden Kupferlegierungen bewährt. Bei der Entwicklung des neuen hybriden Schweißverfahrens konnten die Wissenschaftler entscheidend von den zeitlichen Vorteilen sowie den geometrischen Gestaltungsfreiheiten der additiven Technologie profitieren. ■



Aufbau von drei Düsenvarianten mittels Selective Laser Melting

Additiv gefertigte Plasmadüse



Das IGF-Vorhaben Nr.: 18828 N / DVS-Nr.: 06.095 der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS, Aachener Str. 172, 40223 Düsseldorf, wird über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

#### Ihre Ansprechpartner

Christian Brunner-Schwer  
Telefon: +49 30 39006-399  
christian.brunner-schwer@ipk.fraunhofer.de

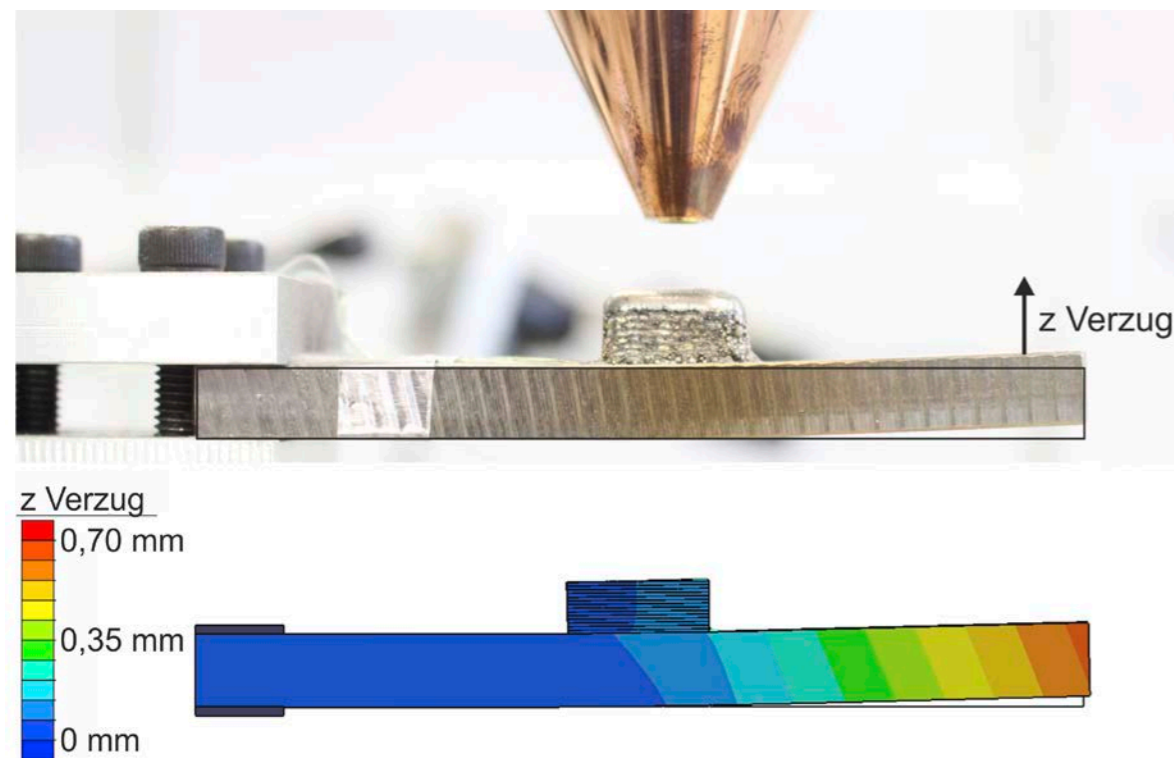
Robert Kersting  
Telefon: +49 30 39006-355  
robert.kersting@ipk.fraunhofer.de



# Brücke zwischen Entwurf und Fertigung

## Numerische Simulation für additive Prozesse

Die numerische Simulation hilft, Probleme bei additiven Bauprozessen früh zu erkennen und Optimierungspotenziale auszuschöpfen. Ziel der FuE-Arbeiten am Fraunhofer IPK ist es, die Zahl der nötigen Versuche durch Vorhersagen zu verringern und Prozessgrößen wie Wärmeflüsse und Maßabweichungen zu visualisieren. Heute steht die Simulation in der additiven Fertigung noch am Anfang und soll durch anwendungsorientierte Forschung marktreif werden.



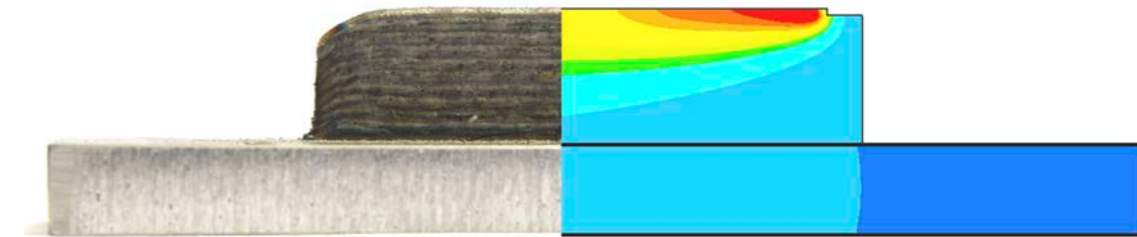
Beispiel für einen starken thermischen Verzug beim Auftragschweißen – sichtbar gemacht mithilfe der numerischen Simulation.

Komplexe Wechselwirkungen zwischen Wärme, Werkstoff und mechanischen Spannungen führen bei der additiven Fertigung zu Verzügen und Eigenspannungen. Vor allem bei großen, detailreichen Bauteilen kann es zu Rissen, Versprödungen, Verdampfung von Legierungselementen und Verfehlung der Toleranzen kommen. Bisher wird die Fertigungsstrategie bei neuen Bauteilen mit Experimenten unter großem Einsatz von Maschinenzeit, Arbeitszeit und Material erprobt. Schlimmstenfalls sind dutzende Versuche nötig, um funktionierende Prozessparameter, die optimale Werkstückausrichtung

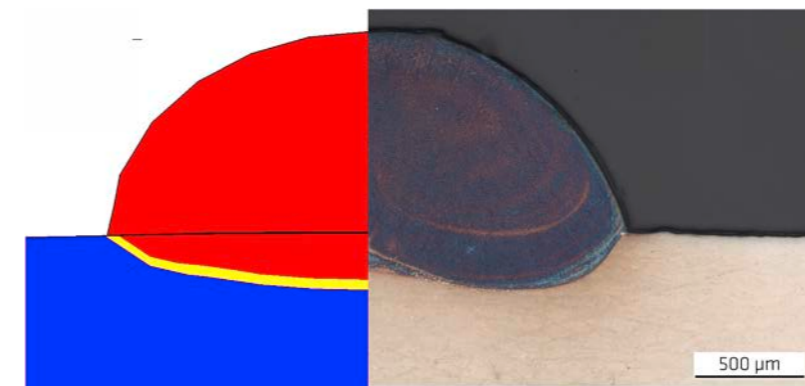
und korrekte Scanpfade zu bestimmen. Die experimentell gewonnenen Ergebnisse sind schwer übertragbar, weil es stark nicht lineare Zusammenhänge zwischen Wärme, Werkstoff und Mechanik gibt: Das heißt, für ein ähnliches Bauteil muss der Versuchsaufwand unter Umständen wiederholt werden.

Deshalb reagiert das Fraunhofer IPK in einer neuen Forschungsinitiative auf den Bedarf für numerische Simulation als Bindeglied zwischen Entwurf und Fertigung: Nur durch eine Weiterentwicklung der Simulationstechnik können in Zukunft komplexe

Bauteile mit steigenden Qualitätsansprüchen und geringem Versuchsaufwand gefertigt werden. Denn wo Transparenz im Prozess erschwert ist und Messungen mit viel Aufwand verbunden sind, erlaubt die Simulation eine umfassende Visualisierung. Nach Belieben kann z. B. die Ausbreitung von Wärme beobachtet werden. Hotspots können so noch vor dem ersten Versuch identifiziert werden. Eine gute Visualisierung hilft bei der Fehlersuche und kann auch als Lehrwerkzeug beispielsweise für die Wahl passender Aufbaustrategien verwendet werden. Außerdem werden Maßabweichungen und



Mithilfe numerischer Simulation lässt sich die Temperaturverteilung beim additiven Auftragschweißen visualisieren.



Der Vergleich des simulierten Querschnitts einer Spur mit experimentellen Querschnitten wird zusammen mit Temperaturmessungen zur Validierung des Simulationsmodells verwendet.

Spannungsentwicklungen durch den thermischen Verzug berechnet, mit deren Hilfe nachfolgende Prozesse bereits im Vorfeld auf Fertigungsabweichungen vorbereitet werden können.

Die numerische Simulation ist im Verbindungsschweißen schon als Werkzeug zur Optimierung und Minimierung von Schweißverzügen und Eigenspannungen etabliert und wird zum Beispiel in der Automobil- und Luftfahrtindustrie eingesetzt. Der volle Umfang einer Struktursimulation ist aus diesen Anwendungen bekannt. Die Wärmeeinbringung ist in der Simulation beweglich und führt zu einem Materialauftrag. Temperaturabhängige Werkstoffkennwerte finden Verwendung, um die Wärmeausbreitung sowie mechanische Größen wie Eigenspannungen und Verzug zu berechnen. Alle Ergebnisse sind abhängig von der Bauteilgeometrie, der Wärmeverteilung im Prozess und Randbedingungen wie Einspannung und Kühlung.

Neu ist, dass in der additiven Fertigung viel längere »Schweißpfade« nötig sind, um ein Bauteil aufzubauen. Im Verbindungsschweißen werden selbst bei Industrieteilen nur einige Meter geschweißt, während

bei Verfahren wie Selective Laser Melting (SLM) kilometerlange Mikroschweißnähte benötigt werden. Die additive Anwendung des Laser-Pulver-Auftragschweißens (LPA) bietet sich aufgrund der größeren Spuren für erste Untersuchungen in der Simulation an, weil die Schweißnähtlänge zumindest in derselben Größenordnung wie beim etablierten Verbindungsschweißen ist. Die Länge der Nähte und die Bauteilgröße stellen besondere Herausforderungen an die Rechentechnik. Hohe Temperaturanstiege und -abfälle am Bauteil müssen vom Computer genau abgebildet werden, um die Entwicklungen des Bauteils berechnen zu können. Außerdem muss sichergestellt werden, dass komplizierte, schichtweise Scanstrategien in der Simulation umgesetzt werden können, um das Bauteil stückweise wachsen zu lassen. All diese Probleme gibt es im Verbindungsschweißen nicht und so sind innovative Lösungen gefordert.

Ziel der FuE-Aktivitäten am Fraunhofer IPK ist es, die Simulation der additiven Fertigung zunächst an kleinen Bauteilen zu validieren und anschließend auf komplexe, industrierelevante Modelle zu übertragen. Der Vorteil für Anwender liegt auf der Hand: Mit der Marktreife der numerischen Simulation wird

sich die Zeit zwischen Entwurf und fertigem Teil verkürzen, weil (Fehl)Versuche vermieden werden. Durch die Identifikation idealer Aufbaustrategien vor dem ersten Versuch verringern sich Anlagen- und Materialkosten. Die Ergebnisse einer Simulation erlauben immer eine gute Visualisierung, mit deren Hilfe sich Neulinge schnell einarbeiten und Profis aus Fehlern lernen können. Die Forscher am Fraunhofer IPK wollen die Simulation zum fehlenden Bindeglied zwischen Entwurf und Fertigung entwickeln und mit numerischen Methoden die Wettbewerbsfähigkeit der additiven Fertigung verbessern. ■

### Ihr Ansprechpartner

Max Biegler

Telefon: +49 30 39006-404

max.biegler@ipk.fraunhofer.de



# Neuer Fall für den ePuzzler

## Rekonstruktion zerstörter Archivalien des Instituto Judío de Investigaciones (IWO)

Am 18. Juli 1994 zerstörte ein Bombenanschlag in Buenos Aires das Gebäude der Asociación Mutual Israelita Argentina (AIMA), der Zentrale der jüdischen Gemeinde in Argentinien. Das Gebäude, in dem zahlreiche jüdische Organisationen und Vereine vertreten waren, wurde dabei völlig zerstört. 85 Menschen wurden getötet, 300 verletzt und mehr als 400 umliegende Wohnungen und Geschäfte zerstört oder beschädigt. Wer für den Anschlag verantwortlich ist, ist bis heute ungeklärt. Von dem Bombenanschlag betroffen waren auch das Archiv und die Bibliothek der Fundación IWO, Idisher Visnshaftlejer Institut – Instituto Judío de Investigaciones. Ob die beschädigten Bestände des IWO mithilfe der automatisierten virtuellen Rekonstruktion wiederhergestellt werden können, wird das Fraunhofer IPK ab Herbst 2018 mit Unterstützung des Kulturerhaltungsprogramms des Auswärtigen Amtes untersuchen.



Nach dem Anschlag halfen 800 junge Freiwillige, die kulturellen Schätze des IWO zu bergen. (© Fundación IWO)



Das Forschungsinstitut IWO soll das Wissen über die Geschichte des jüdischen Lebens mit besonderem Fokus auf die Geschichte und Kultur des osteuropäischen Judentums vertiefen. Die Archive und Bibliotheken der Organisation zählen zu den weltweit wichtigsten Ressourcen für die Erforschung jüdischen Lebens und jüdischer Geschichte in Europa, jiddischer Sprache, Literatur und Folklore, der verschiedenen Aspekte des Holocaust und der Geschichte der jüdischen Einwanderung in Amerika.

Der Anschlag zog eine einzigartige Sammlung von Dokumenten und Büchern in jiddischer Sprache, historischen Dokumenten der jüdischen Geschichte in Argentinien und zahlreichen vor den Nationalsozialisten aus Europa geretteten Publikationen, Schriftstücken und weiteren Artefakten der jüdischen Kultur in Mitleidenschaft. Noch während die Einsatzkräfte nach Überlebenden suchten und Verletzte bargen, begann die unglaubliche Rettungsaktion der in dieser Form singulären Bibliothek, an der sich bis zu 800

Jugendliche beteiligten. Zahllose Schriftstücke, Tonträger und Gegenstände sowie mehr als 70.000 Bücher konnten in Sicherheit gebracht werden. Viele Objekte wurden damit zum zweiten Mal gerettet: Nachdem sie zunächst dem Zugriff der Nazis entzogen werden konnten, entgingen sie nun ein halbes Jahrhundert später mit der Bergung aus den Trümmern des Archivs erneut der Zerstörung.



Der Bombenanschlag hatte dramatische Auswirkungen auf die Sammlungen des IWO: Millionen von Zeitschriften, Dokumenten, Fotografien und Büchern waren in den Trümmern des Gebäudes verstreut. (© Fundación IWO)

Ein Teil des Archivguts wurde 2012 im neuen Gebäude der AMIA und am neuen Standort des IWO zwar wieder zugänglich gemacht. Ein Großteil der beschädigten Dokumente wartet jedoch immer noch auf die Rekonstruktion und (Re-)Formierung. Das IWO steht seit dem Terroranschlag am 18. Juli 1994 vor der Herausforderung, Millionen von Fragmenten in ihren Originalzusammenhang zurückzubringen. Neben dem Beschädigungsgrad schließt allein schon die Menge der Fragmente eine manuelle Rekonstruktion aus.

Hier kommt das Fraunhofer IPK in Berlin ins Spiel: Seine Methoden der automatisierten virtuellen Rekonstruktion von zerstörten bzw. beschädigten Dokumenten, ursprünglich entwickelt, um zerstörte Akten des DDR-Staatssicherheitsdienstes wieder lesbar zu machen, sind weltweit nachgefragt. Herausragende Beispiele sind die Wiederherstellung der beim Einsturz des Historischen Archivs der Stadt Köln im Jahr 2009 zerstörten

Dokumente und die Rekonstruktion des mittelalterlichen Gebetbuches Narek in Jerewan/Armenien. Das Herz der einzigartigen virtuellen Rekonstruktion ist der ePuzzler: eine am IPK entwickelte Software, die mit neuartigen Bildverarbeitungs- und Mustererkennungsalgorithmen gescannte Papierfragmente beliebiger Ausprägung ohne Vorlage zu vollständigen Seiten zusammensetzen kann.

Ab Herbst 2018 sollen mit Kulturerhalt-Mitteln des Auswärtigen Amtes die Expertinnen und Experten des Fraunhofer IPK im Rahmen einer Erprobungs- und Konzeptphase untersuchen, ob und wie die beschädigten Bestände des IWO zunächst qualitativ hochwertig und rekonstruktionstauglich digitalisiert und gesichert werden können. Anschließend soll eruiert werden, inwieweit die bestehenden Methoden der virtuellen Rekonstruktion zur Wiederherstellung der beschädigten Bestände des IWO eingesetzt werden können. Eine Aufwandsabschätzung hinsichtlich der Digitalisierung und virtuellen

Rekonstruktion der Bestände des IWO soll die Untersuchungen ergänzen. Ebenfalls geplant ist, die Ergebnisse der Studie dem IWO in einem Abschlussworkshop zu präsentieren. ■

**Ihr Ansprechpartner**  
 Dr. Bertram Nickolay  
 Telefon: +49 30 39006-201  
 bertram.nickolay@ipk.fraunhofer.de



# Finderlohn

## Automatisierte virtuelle Rekonstruktion von Euro-Banknoten

**Immer wieder werden mutwillig zerstörte oder versehentlich beschädigte Geldscheine sichergestellt oder bei Banken zur Erstattung vorgelegt. Nationalbanken sind in diesen Fällen in der Regel verpflichtet, den Gegenwert beschädigter Währungsmittel zu erstatten. Generell gilt: Können Besitzer oder Finder mehr als die Hälfte einer Banknote vorlegen oder nachweisen, dass die fehlende Hälfte endgültig vernichtet ist, wird Ersatz geleistet. Doch vor jeder Erstattung müssen die vorgelegten Geldscheinfragmente von Bankmitarbeitern von Hand zusammengesetzt werden. Dies dient zum einen der zweifelsfreien Überprüfung der Echtheit des Geldes und zum anderen der exakten Ermittlung des jeweils zu erstattenden Betrags.**



Fragmente unterschiedlicher Banknoten im Größenvergleich

Die händische Rekonstruktion kleinteilig zerstörter Banknoten ist mit enormem Aufwand verbunden und bei großen Schnipselmengen schlicht nicht mehr möglich. Das liegt unter anderem daran, dass für die Rekonstruktion fast ausschließlich sich wiederholende Muster zur Verfügung stehen, die zudem häufig erst nach Vergrößerung durch ein Mikroskop eindeutig sichtbar werden. Wird beispielsweise ein aus mehreren Scheinen bestehender Stapel gleicher Banknoten in einem Stück zerschnitten, ähneln sich die

für die Rekonstruktion verwendbaren Merkmale entlang der Schnittkanten in höchstem Maße. Wird eine größere Anzahl von Banknotenstapeln jeweils mehrfach zerschnitten und werden die daraus resultierenden Fragmente beliebig vermengt, wird die händische Rekonstruktion der Geldscheine zu einer kaum noch löslichen Sisyphus-Aufgabe.

Im Rahmen verschiedener von der Deutschen Bundesbank in Auftrag gegebener Machbarkeitsanalysen konnte das Fraunhofer IPK

in den vergangenen Jahren bereits mehrfach unter Beweis stellen, dass eine virtuelle Rekonstruktion hochgradig fragmentierter Banknoten prinzipiell möglich ist. Dafür wurden ausgewählte Verfahren der am Fraunhofer IPK entwickelten Rekonstruktionstechnologie adaptiert und zusammen mit ebenfalls am Institut entwickelten Methoden der Dokumentenanalyse testweise in einem Assistenzsystem implementiert. Mithilfe dieser assistenzbasierten Rekonstruktionssoftware konnte das Institut die Deutsche Bundesbank bereits sehr erfolgreich bei der Lösung prominenter Fälle unterstützen. Im sogenannten »Darmstädter Fall« wurde eine etwa 7.200 Teile umfassende Menge von teilweise nur fingernagelgroßen 50er- und 500er-Banknotenfragmenten digitalisiert und virtuell rekonstruiert. Dabei wurde mithilfe der Software festgestellt, dass die Menge der Puzzleteile sehr unvollständig und damit aufgrund vieler fehlender Verbindungsstücke nicht vollständig rekonstruierbar ist. In einem anderen Fall wurden knapp 5.200 Schnipsel von 500er-Banknoten zu über 700 überwiegend vollständigen Banknoten virtuell rekonstruiert.

### ► Neues Komplettsystem

2018 hat die Deutsche Bundesbank das Fraunhofer IPK mit der Entwicklung eines Komplettsystems zur virtuellen Rekonstruktion fragmentierter Banknoten beauftragt.

Das System soll als Stand-alone-Lösung in den Räumlichkeiten der Deutschen Bundesbank aufgebaut und dort von dieser eigenständig betrieben werden. Wesentliche Bestandteile des Systems sind eine automatisierte Digitalisierungseinheit sowie ein speziell für die Wiederherstellung von Banknoten adaptiertes Rekonstruktionsassistenzsystem. Herzstück des Assistenzsystems ist eine Weiterentwicklung der ePuzzler-Technologie.

Vor der virtuellen Rekonstruktion müssen die Fragmente qualitativ hochwertig digitalisiert werden. Die zu entwickelnde automatisierte Digitalisierungseinheit soll die Fragmente in einem Scandurchgang beidseitig sowie farb- und formtreu vor einem homogenen Scanhintergrund erfassen. Durch eine zusätzliche Durchlichtaufnahme wird eine pixelgenaue, farbinvariante Maskierung der Fragmente ermöglicht. Die Digitalisierungseinheit soll

dafür ein Kamerasystem mit integrierter Beleuchtung zur quasi gleichzeitig beidseitigen Aufnahme der Fragmente mit 1.200 dpi nativer Ortsauflösung beinhalten. Die zu digitalisierenden Fragmente sind während des Scansvorgangs in transparenten Objektträgern fixiert.

Das zu entwickelnde Assistenzsystem soll in der Lage sein, zerrissene und zerschnittene Euro-Banknoten aller aktuell gültigen Stückelungen wiederherzustellen. Im Zuge des sogenannten Matchings werden dafür von der ePuzzler-Software für alle im System hinterlegten Banknotenvorlagen automatisch Vorschläge vermeintlich passender Fragmente berechnet und absteigend nach dem errechneten Grad der Übereinstimmung, dem »Matching Score« sortiert. In der interaktiven Komponente des Assistenzsystems werden alle vermeintlich passenden

Rekonstruktionskandidaten einem Bediener angezeigt, der diese begutachten und im Trefferfall annehmen, also zusammenfügen kann. Der Bediener kann die automatisch berechneten Paarungsvorschläge stufenlos zoomen und die einzelnen Bauteile zur Feinausrichtung zueinander verschieben und drehen.

Das Assistenzsystem soll zudem für jedes Fragment und jede Rekonstruktionsbaustufe automatisch den prozentualen Größenanteil an einer vollständigen Banknote ermitteln sowie aus allen Fragmenten einer Stückelung die Anzahl der zu rekonstruierenden Banknoten und damit den vermeintlichen Erstattungswert abschätzen können. Außerdem soll die Positionierung aller Fragmente einer bestimmten Banknotenvorlage automatisch in Form einer »Heatmap« dargestellt werden können. ■



Rekonstruktion einer 50-Euro-Banknote aus 11 sowie einer 500-Euro-Banknote aus 33 Fragmenten (Schnittkonturen hervorgehoben)



### Ihr Ansprechpartner

Jan Schneider

Telefon: +49 30 39006-203

jan.schneider@ipk.fraunhofer.de



# Additive Fertigung – vom Laborbetrieb in den Shopfloor

**Renishaw ist eines der weltweit führenden Unternehmen im Bereich der industriellen Messtechnik und der additiven Fertigung. Das Unternehmen bietet Produkte und Dienstleistungen für unterschiedlichste Anwendungen im Bereich der metallverarbeitenden Industrie, Medizintechnik und der analytischen Messtechnik an. In Deutschland ist Renishaw seit 1986 mit einer eigenen Niederlassung vertreten. FUTUR sprach mit Rainer Lotz, Geschäftsführer der Renishaw Gesellschaften in Österreich, Schweiz und Deutschland über additive Trends und die internationale Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen.**

**FUTUR:** Was war das erste additive Produkt, das einen nachhaltigen Eindruck bei Ihnen hinterlassen hat?

**Lotz:** Das war ein Produkt aus der Dentaltechnik – implantatgestützte Brücken, die im Bereich Zahnersatz für Patienten zum Einsatz kommen. Die Möglichkeit, solche Brücken ganz individuell zu produzieren und auf die physischen Gegebenheiten eines einzelnen Patienten anzupassen zu können, hat zu einer nachhaltigen Verbesserung in der Medizin geführt und große Vorteile für die Patienten gebracht. Ein Hauptproblem war ja, dass Patienten mit herkömmlich gefertigten Brücken über Jahre Spannungen im Kiefer hatten, die zu weiteren Folgeerscheinungen führten. Indem die tatsächliche Position des künftigen Implantats im Kiefer zunächst mit unserer Messtechnik hochgenau vermessen wird und das Implantat, in dem Fall die Brücke individuell additiv hergestellt und angepasst wird, bekommt der Patient viel weniger Spannung in den Kiefer. Das ist schon eine tolle Sache und hat mich vor rund zehn Jahren sehr beeindruckt und die Phantasie beflügelt, was die Individualisierung solcher Produkte für ein Potenzial hat.

**FUTUR:** Welche Trends beobachten Sie aktuell in der additiven Fertigung?

**Lotz:** Der ganz große Trend ist sicherlich raus aus der Prototypenecke, raus aus dem

reinen Laborbetrieb hin auf den Shopfloor, in die Fertigung. Das hat mit verschiedenen Faktoren zu tun. Zum einen sind additive Verfahren heute sehr viel stabiler, als sie es früher waren. Zum anderen wird die Produktivität additiver Anlagen immer interessanter für industrielle Anwender. Außerdem ist mittlerweile für viele dieser Verfahren eine Qualitätssicherung möglich. Somit können additive Technologien heute als echte produktionstechnische Verfahren ergänzend zu anderen klassischen Verfahren in der Produktion eingesetzt werden.

**FUTUR:** Wie beurteilen Sie die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen im internationalen Markt?

**Lotz:** Ausgezeichnet. Deutschland ist vor allem im Bereich der metallbasierten additiven Fertigung ein sehr innovativer Standort. Und die Innovationskraft des Standorts Deutschland ist wiederum ein treibender Faktor, dass die Wettbewerbsfähigkeit gut ist. Das war auch ein Grund für Renishaw erheblich in den Standort hier in Form eines Technologie-Centers zu investieren. Natürlich, wie immer – und das gilt nicht nur für dieses Marktsegment oder diese Industrie – muss man in Deutschland darauf achten, dass gute Ideen und gute Technologien letztendlich auch gut zum Markt hingeführt werden. Da gibt es leider Beispiele, wo Ideen und Entwicklungen, die aus Deutschland kamen, von

anderen Unternehmen in den USA oder in Asien sehr viel erfolgreicher an den Markt gebracht wurden. Da dürfen wir uns die Butter nicht vom Brot nehmen lassen.

**FUTUR:** Woran liegt das Ihrer Meinung nach?

**Lotz:** Zum einen ist es immer noch so, dass US-amerikanische Unternehmen in der Vermarktung von Ideen und Produkten oft kreativer sind als deutsche Unternehmen. Zum anderen ist es auch so, dass wir nach wie vor – ich bin ja selbst Ingenieur – sehr technikverliebt sind und manchmal zu sehr auf die Technik schauen und auch zu einem gewissen Over-Engineering tendieren, das dann am Markt vorbeigeht. Da sind uns die Amerikaner und die Asiaten, die ein sehr feines Gespür für die Märkte entwickelt haben, manchmal eine Nasenlänge voraus. Deshalb besteht auch heute die Gefahr, dass gute Ideen, die aus Deutschland kommen – Fraunhofer war ja beispielsweise auch an der Entwicklung von additiven Laserschmelzverfahren für Metalle beteiligt – woanders viel erfolgreicher in den Markt eingeführt werden.

**FUTUR:** Welche Potenziale birgt die Digitalisierung für die additive Serienfertigung und welche Chancen ergeben sich daraus auch oder speziell für den Mittelstand?

**Lotz:** Der digitale Workflow ist inzwischen genauso wichtig wie der physische Workflow. Das gilt nicht nur für die additive Fertigung, sondern für die Fertigung im Allgemeinen. Der digitale Workflow bringt Stabilität in die gesamte Produktion, die einzelnen Verfahren und Prozesse und führt so zu einer erheblichen Kostenreduzierung. Damit wird auf mittlere Sicht eine additive Technologie plötzlich auch für den Mittel-

stand bezahlbar und beherrschbar. Dafür, dass auch kleine und mittlere Unternehmen die Vorteile und Mehrwerte dieser neuen Verfahren nutzen können, ist die Digitalisierung extrem wichtig. Sie können dann unabhängiger von einzelnen Maschinenbedienern agieren und haben mehr Möglichkeiten, ihre Prozesse zu überblicken und zu steuern. Und sie profitieren, genauso wie große Konzerne, von einem größeren Output, also einer höheren Produktivität und besserer Stabilität ihrer Verfahren. Und wie gesagt: Durch die damit verbundene Kostenreduzierung durch die Digitalisierung werden komplexe Verfahren auch für den Mittelstand finanzierbar.

**FUTUR:** Renishaw ist Spezialist für metallbasierte additive Fertigungstechnologien. Was ist in punkto Material und Prozess zukünftig möglich?

**Lotz:** Das eine ist natürlich weiterhin die Vergrößerung der Materialpalette. Es werden neue Materialien wie Legierungen dazu kommen, die über zusätzliche Eigenschaften verfügen, um den Einsatzbereich additiver Fertigungsverfahren stetig zu erweitern. Zudem werden auch Weiterentwicklungen in Sachen Produktivität und Qualität in den nächsten Jahren ganz viel zu einem breiteren Anwendungsspektrum beitragen. Mit Qualitätssicherung meine ich vor allem in das Verfahren integrierte Systeme, die schon während der Generierung eines Werkstücks die Qualität von Prozess und Bauteil überwachen und gegebenenfalls auch eine Einflussnahme erlauben. Damit werden Steuerungsloops möglich, um einen Prozess zu korrigieren und quasi null Fehler zu produzieren. Hier können wir in Zukunft einiges erwarten und das wird die Einsatzmöglichkeiten der additiven Technologien erheblich erweitern.

Wenn man die Branchen betrachtet, ist es tatsächlich so, dass im Bereich der Medizintechnik und im Metall- und Formenbau der Reifegrad additiver Prozesse schon sehr hoch ist, weil die Bauteile sich im Hinblick



## Zur Person

Rainer Lotz hat zunächst Feinwerktechnik studiert und anschließend einen MBA in internationalem Marketing abgeschlossen. Nach Stationen im Bereich Unternehmensberatung (1991), Hydrometrie (1993) und Lichttechnik (2000) mit dem Schwerpunkt Unternehmensleitung und Vertrieb übernahm er 2006 die Alleingeschäftsführung der Renishaw GmbH. Seit 2008 ist Rainer Lotz ebenso Mitglied im Vorstand für Internationales Marketing und Vertrieb der Renishaw Gruppe und wurde im weiteren Verlauf ebenso Geschäftsführer der Renishaw Gesellschaften in Österreich und der Schweiz.

## Kontakt

Rainer Lotz  
Telefon: +49 7127 981-1401  
E-Mail: rainer.lotz@renishaw.com

auf Größe und Material hervorragend für diese Prozesse eignen. Aber wir sind natürlich auch schon in anderen Sparten, egal ob das Automobil, Consumer Electronics oder Aerospace ist, an ganz vielen Anwendungen dran. Hier geht es vor allem um Kleinserien, bei hybriden Bauweisen zukünftig dann auch um größere Serien – immer mit dem Vorteil, dass wir mithilfe additiver Technologien einen funktionalen Mehrwert in diese Produkte einbringen können, den man konventionell nicht fertigen kann. Ein weiteres Plus ist, dass additiv hergestellte Produkte in kleineren Iterationsschritten beeinflusst werden können. Das heißt, wenn die Entwicklung oder Anwendungstechnik ein Produkt gezielt optimieren möchte, dann kann sie das oftmals in kleineren Schritten tun, weil kleine Veränderungen mit additiven Verfahren sehr einfach realisiert werden können. ■



# 3D-Metall-Druck

## Wirtschaftlich und schnell

Die GEFERTEC GmbH hat mit 3DMP® einen neuen Industriestandard für die Herstellung von metallischen Bauteilen gesetzt. Diese neue additive Fertigungsmethode bietet bislang unerreichte Möglichkeiten und erlaubt die kostengünstige und gleichzeitig schnelle Herstellung von endkonturnahen Rohlingen aus Metall. Das 3DMP®-Verfahren basiert auf erprobter Lichtbogenschweiß-Technologie und verwendet deshalb als Ausgangsmaterial Draht. Schweißraupe für Schweißraupe wird so ein Werkstück gedruckt.



Die GEFERTEC arc arbeitet mit dem neuen additiven Fertigungsverfahren 3DMP®. (© GEFERTEC GmbH)

Dieses neue Fertigungsverfahren bietet im Vergleich zu herkömmlichen 3D-Druckmethoden, die Pulver als Ausgangsmaterial verwenden, eine Reihe von Vorteilen: Das auf-

wendige Pulverhandling entfällt, zudem sind die meisten Standardwerkstoffe zu merklich niedrigeren Kosten bereits in Drahtform erhältlich. Größter Vorteil ist jedoch die sehr hohe Aufbaurate, die in Abhängigkeit vom verwendeten Werkstoff bis zu 600 cm<sup>3</sup> pro Stunde beträgt.

### ► Moderne Produktionsmaschinen

Mit den Maschinen der arc-Serie, die auf der 3DMP®-Technologie basieren, bietet GEFERTEC eine Möglichkeit zur schnellen und wirtschaftlichen Fertigung auch

größerer Werkstücke bis zu 3 m<sup>3</sup> aus Stahl, Nickel-Legierungen, Titan oder Aluminium. Die GEFERTEC arc-Maschinen arbeiten wie klassische Werkzeugmaschinen mit einer CNC-Steuerung. Eine speziell entwickelte 3DMP®-CAM-Software erzeugt aus den CAD-Daten des Werkstücks die Daten, mit denen die CNC-Steuerung die exakte Positionierung des Schweißkopfs vornimmt. Die Fertigung des endkonturnahen Werkstücks erledigt die Maschine vollautomatisch. Die Endbearbeitung kann dann mit herkömmlicher CNC-Frästechnik erfolgen. Im Vergleich zu anderen Fertigungsverfahren nutzt das 3DMP®-Verfahren den Werkstoff optimal aus, was vor allem bei teuren Werkstoffen wie Titan zu erheblichen Kostenvorteilen führt: Je nach Anwendung sinken die Herstellungskosten um bis zu 60 Prozent.

### ► Teil einer starken Unternehmensgruppe

Die GEFERTEC GmbH, die das 3DMP®-Verfahren entwickelt hat, wurde 2015 gegründet. Zur EMO 2017 konnte das junge Unternehmen seine arc-Maschinenreihe erfolgreich am Markt einführen. Inzwischen ist die GEFERTEC arc in vier verschiedenen Varianten erhältlich; erste Kunden setzen bereits in ihrer Fertigung auf die neue Technologie. GEFERTEC gehört zur mittelständischen Scansonic-Gruppe mit Hauptsitz in Berlin, die mit rund 250 Mitarbeitern einen Umsatz von etwa 45 Millionen Euro erwirtschaftet.

### Kontakt

GEFERTEC GmbH  
Schwarze Pumpe Weg 16  
12681 Berlin  
Telefon: +49 30 912074-360  
info@gefertec.de  
www.gefertec.de

# Additive Fertigungstechnologien

## Vom Design bis zur Qualitätssicherung

Das Labor »Additive Fertigungstechnologien« am Fraunhofer IPK bietet mit dem Selektiven Laserstrahlschmelzen (SLM), dem Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) sowie dem Selektiven Lasersintern (SLS) zukunftssträchtige Technologien an, die viele metallische Legierungen und Kunststoffe sicher verarbeiten können. Dabei werden Anwendungsfelder von der individuellen Fertigung bis hin zur Kleinserienfertigung bedient. Unsere Experten erforschen neue Ansätze im Design, in der Konstruktion und in der Fertigung additiver Bauteile und entwickeln gemeinsam mit Kunden und Partnern individuell abgestimmte Prozessketten, beginnend bei der Auslegung von Produkten über die Prozessentwicklung bis hin zur Integration additiver Technologien im Unternehmen.

### ► Technische Ausstattung

#### Selektives Laserstrahlschmelzen (SLM)

- SLM250 HL
- 400 W YLR-Laser
- Null-Punkt-Spannsystem für die Nachbearbeitung
- Qualifizierung von metallischen Werkstoffen
- Fertigung von Kleinserien

#### Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA)

- TruLaser Cell 7020
- 2000 W Scheibenlaser
- Drehkipptisch zur flexiblen Bauteilpositionierung
- Reparatur und Beschichtungen von Komponenten

#### Selektives Lasersintern (SLS)

- DTM Sinterstation 2000
- 100 W CO<sub>2</sub>-Laser
- Herstellung von Prototypen
- Geometrie- und Konzeptmodelle aus Kunststoff

#### 3D-Drucker

- HP Designjet 3D, MakerBot Replicator 2X Dual Extruder, Ultimaker Original, Ultimaker 2
- Entwicklung von recycelbaren Werkstoffen
- Herstellung von Designmodellen

#### CAD-CAM-Software

- Ansys Workbench, Solid Works, Magics, Siemens NX
- Simulation, Konstruktion und HMI-Programmierung

#### Pulveranalyse

- HAVER & Böcker Analysesiebmaschine, EDX-Anlage
- Charakterisierung des Pulvermaterials
- EDX-Analyse zur chemischen Werkstoffanalyse
- Hall Flowmeter zur Bestimmung der Fließfähigkeit

#### Materialprüfung

- Zwick & Roell Z150, REM Jeol JCM-5000, Neoscope
- Prüfung der Dichte
- Bestimmung der Zugfestigkeit und Härte
- Gefügeuntersuchung

#### Optische und taktile Vermessung

- Alicona InfiniteFocus, GOM ATOS 3, Jenoptik nanoscan 855, Zeiss F25, Zeiss LSM 5, Zeiss Metrotom 800, Zeiss O-Inspect
- Prüfung von Geometrie, Rauheit, Kontur und Topografie



### Ihr Ansprechpartner

André Bergmann  
Telefon: +49 30 39006-107  
andre.bergmann@ipk.fraunhofer.de



## ► Ernennung zum Universitätsprofessor

### Prof. Michael Rethmeier unterrichtet in St. Petersburg

Im März dieses Jahres wurde Prof. Michael Rethmeier zum Professor im Department für Lasertechnologie am Institut für Metallurgie, Maschinenbau und Transport an der Peter der Große St. Petersburg Polytechnische Universität (SPbPU) ernannt. Im April hielt er, von ERASMUS+ gefördert, eine erste Vorlesungsreihe über Schweißtechnik. Weitere Vorlesungen werden ab September mit den Themen Metall-Schutzgas-Schweißen (MSG-Schweißen), Schweißverzugsimulation, Laserstrahlschweißen und Punktschweißen folgen.

Rethmeier leitet am Fraunhofer IPK das Geschäftsfeld Füge- und Beschichtungstechnik sowie den Fachbereich Schweißtechnische Fertigungsverfahren an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Seiner Berufung an die SPbPU ging eine langjährige Kooperation auf dem Gebiet des Hochleistungslaserstrahlschweißens und der Schweißsimulation mit Professor Gleb Turichin voraus, der dort dem Department Lasertechnologie vorsteht. Beide Professoren pflegen bereits einen regelmäßigen Austausch von Doktoranden. Professor Michael Rethmeier freut sich nun auf eine noch engere Zusammenarbeit mit dem Institut für Metallurgie, Maschinenbau und Transport an der SPbPU.



Prof. Michael Rethmeier während der ersten Vorlesung in St. Petersburg (© Peter der Große St. Petersburg Polytechnische Universität)

#### ■ Ihr Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. Michael Rethmeier  
Telefon: +49 30 39006-220  
michael.rethmeier@ipk.fraunhofer.de

## ► Vernetzung in der Produktion

### Fraunhofer IPK auf der Hannover Messe 2018

Auch in diesem Jahr war das Fraunhofer IPK auf der Hannover Messe vertreten. Vom 23. bis zum 27. April wurden an zwei Ständen neueste Industrie-4.0-Technologien vorgestellt. Am Messestand des Fraunhofer-Verbunds Produktion konnten die Besucher ein Exponat testen, in dem verschiedene Lösungen des Fraunhofer IPK, wie die modulare Shopfloor-IT, dienstbasierte Konzepte und Digitale Zwillinge, ineinander greifen. So sollte gezeigt werden, wie unterschiedliche Einheiten zu immer neuen Abläufen kombiniert und in bereits bestehende Anlagen integriert werden können. Trendthema der Hannover Messe 2018 war für Thomas Vorsatz aus dem Geschäftsfeld Virtuelle Produktentstehung eindeutig der Digitale Zwilling: »Obwohl wir nicht die einzigen auf der Messe mit diesem Thema waren, kamen viele Unternehmen, insbesondere aus der Automotive-Branche, direkt auf uns zu und informierten sich über den Einsatz der Technologie.« Am Fraunhofer-Hauptstand präsentierte das Fraunhofer IPK gemeinsam mit Partnern aus dem Leistungszentrum »Digitale Vernetzung« ein Exponat zur Vernetzung von einzelnen Komponenten der Produktion in einer einzigen Maschine und dem daraus resultierenden Mehrwert für die gesamte Fertigung.



Smarte Fabrik: In diesem Exponat arbeiteten eine Bearbeitungszelle und ein Handlingsystem zusammen – als Beispiel, wie Fertigungstechnologien über verschiedene Hersteller und Standards hinweg variabel vernetzt werden.

#### ■ Ihre Ansprechpartnerin

Katharina Strohmeier  
Telefon: +49 30 39006-331  
katharina.strohmeier@ipk.fraunhofer.de

## ► Turbinenschaufeln endoskopisch reinigen

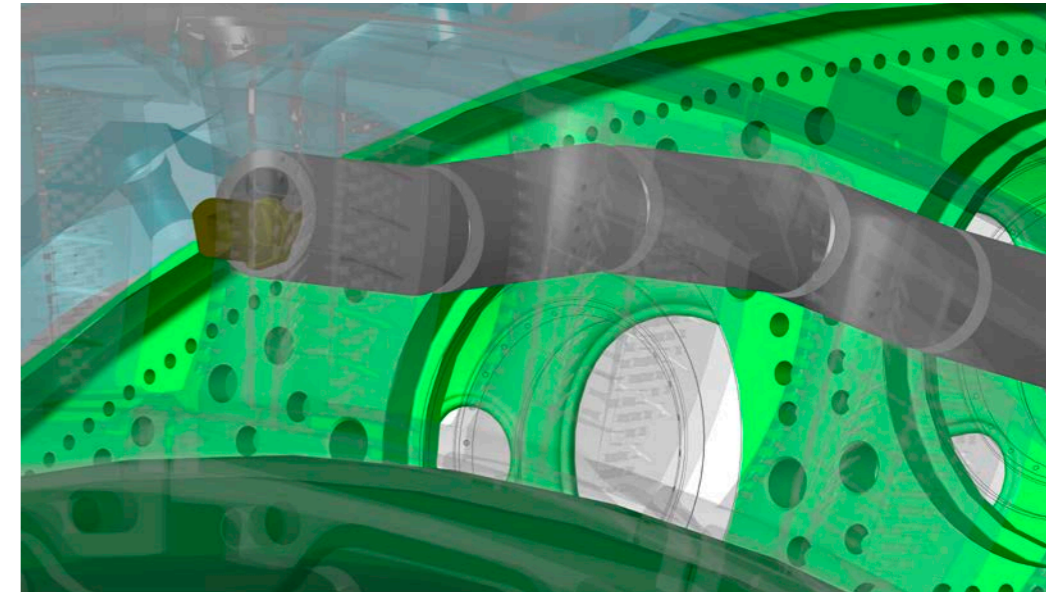
### Innovationspreis der Deutschen Luftfahrt 2018 für Projekt von Rolls-Royce in Kooperation mit SCHÖLLY FIBEROPTIC und Fraunhofer IPK

Rolls-Royce Deutschland hat gemeinsam mit SCHÖLLY FIBEROPTIC und Fraunhofer IPK beim Innovationswettbewerb der Deutschen Luftfahrt (IDL) in der Preiskategorie »Cross Innovation« gewonnen. Dem ausgezeichneten Projekt »Längeres Leben für Turbinenschaufeln durch endoskopisches Reinigen« liegt die erfolgreiche Anwendung von Methoden aus der Medizintechnik auf komplexe, hochbelastete Bauteile moderner Strahltriebwerke zugrunde. Deren Lebensdauer wird so verlängert, Wartungskosten werden gesenkt.

Moderne Hochdruckturbinenschaufeln werden bei Temperaturen weit über dem Schmelzpunkt der verwendeten Materialien betrieben. Um diesen trotzdem zuverlässig über Millionen Flugkilometer standhalten zu können, werden sie von innen durch Kanäle mit Luft gekühlt. Dadurch entsteht ein Luftfilm rund um die Schaufeln, der den direkten Kontakt mit den heißen Verbrennungsgasen verhindert. Verstopfen die Kühllöcher durch Verunreinigungen im Luftstrom, werden die Schaufeln geschädigt. Eine regelmäßige Inspektion und Reinigung der Kühlkanäle der Turbinenschaufeln an den eingebauten Triebwerken senkt Wartungskosten und Treibstoffverbrauch, sie helfen, ungeplante Triebwerkswechsel zu vermeiden.

Das ausgezeichnete Team aus Experten der drei Unternehmen hat ein Werkzeug entwickelt, mit dem die schwer zugänglichen Turbinenschaufeln im Triebwerk mit einem Hochdruckwasserstrahl gereinigt werden können. Das neu entwickelte, stark miniaturisierte und bewegliche Instrument kann endoskopisch direkt durch die bereits vorhandenen Öffnungen der Kraftstoffdüsen ins eingebaute Triebwerk eingeführt und über eine Kontrolleinheit wie bei medizinischen Eingriffen hochpräzise gesteuert werden. Ungewollter Kontakt mit Bauteilen wird so vermieden. Der spezielle Reinigungskopf strahlt Wasser mit bis zu 500 bar Druck – ungefähr dem vierfachen Druck eines üblichen Hochdruckreinigers – auf die Turbinenschaufeln und hält dabei die angewählte Position genau ein. Dank der Fixierung der Position lassen sich je nach Konstruktion mehrere Schaufeln oder rund 360 Kühllöcher gleichzeitig reinigen.

Die theoretischen Grundlagen für das neue Verfahren wurden in einer frühen Konzeptphase im Rahmen des Luftfahrtforschungs-



Virtual-Reality-Darstellung der Zuführung des neu entwickelten Werkzeugs durch die Öffnungen der Kraftstoffdüsen (© SCHÖLLY FIBEROPTIC GMBH)

programms (LuFo) erarbeitet. In einem weiteren Schritt konnte unter Leitung von Rolls-Royce gemeinsam mit den Forschungspartnern Fraunhofer IPK und SCHÖLLY FIBREOPTIC das Werkzeug zur Einsatzreife entwickelt werden.

Der Innovationspreis der Deutschen Luftfahrt wurde am 25. April im Rahmen der Internationalen Luft- und Raumfahrttausstellung ILA 2018 in Berlin verliehen. Die Preisträger in den vier Kategorien »Emissionsreduktion«, »Customer Journey«, »Industrie 4.0« und »Cross Innovation« wurden von einer Experten-Jury unter Vorsitz von DLR-Luftfahrtvorstand Prof. Rolf Henke in einem mehrstufigen Verfahren aus zahlreichen Einsendungen ausgewählt. Neben ihrer Innovationskraft war die Umsetzbarkeit der Konzepte ein wichtiges Kriterium bei der Preisvergabe.

#### ■ Ihr Ansprechpartner

Christian Mohnke  
Telefon: +49 30 39006-354  
christian.mohnke@ipk.fraunhofer.de



## ► Internationale Gäste

### S. E. Jean Graff, Botschafter des Großherzogtums Luxemburg

Am 13. April 2018 begrüßten Prof. Jörg Krüger, Leiter des Geschäftsfeldes Automatisierungstechnik (l.), und Dr. Bertram Nickolay, Leiter der Abteilung Maschinelles Sehen (r.), hohen Besuch am Fraunhofer IPK. S. E. Jean Graff, Botschafter des Großherzogtums Luxemburg (2.v.l.), informierte sich in Begleitung der stellvertretenden Leiterin der Wirtschafts- und Handelsabteilung Julie Jacobs über Technologien der Automatisierungs- und Rekonstruktionstechnik und bekundete großes Interesse an Kooperationen mit dem Standort Berlin und insbesondere dem Fraunhofer IPK. Was hierzulande eher unbekannt ist: In Luxemburg ist der Sektor der produzierenden Industrie stark ausgeprägt. Daher sieht der Botschafter großes Potenzial in neuen Projekten zu den Themen flexible Produktion und Industrie 4.0.



### S. E. Dr. Peter Huber, Botschafter der Republik Österreich

S. E. Dr. Peter Huber, Botschafter der Republik Österreich (2.v.r.), und Viktoria Wagner, Leiterin des Österreichischen Kulturforums Berlin, waren am 18. April 2018 zu Gast. Prof. Eckart Uhlmann, Institutsleiter des Fraunhofer IPK (r.), und Dr. Bertram Nickolay (l.) stellten das Konzept der Fraunhofer-Gesellschaft sowie aktuelle Kooperationen des Fraunhofer IPK und der TU Berlin mit Österreich vor. Gemeinsam wurden Lösungen und Projekte zu den Themen Industrie 4.0 und digital integrierte Produktion diskutiert. Viktoria Wagner zeigte sich besonders an einer Zusammenarbeit im Bereich der virtuellen Rekonstruktion für den Erhalt von Kulturgütern interessiert. Im Versuchsfeld begeisterte sich Botschafter Dr. Peter Huber für eine neue gestenbasierte Programmiermethode für Roboter.



### Cameron Dick MP, Australien

Am 20. April kam The Honourable Cameron Dick MP, Minister for State Development, Manufacturing, Infrastructure and Planning aus Queensland, Australien in das Fraunhofer IPK. Empfangen wurde er von Prof. Holger Kohl, Leiter des Geschäftsfeldes Unternehmensmanagement, und Prof. Frank Wagner vom Fraunhofer IAO, der über die Aktivitäten von Fraunhofer in Australien berichtete. Cameron Dick informierte sich über das Fraunhofer-Modell in Deutschland und war besonders von den Innovationssystemen und FuE-Aktivitäten des Fraunhofer IPK im Bereich der digital integrierten Produktion sowie der entsprechenden Wertschöpfungs- und Geschäftsmodelle beeindruckt. Bei der abschließenden Versuchsfeldführung begeisterte ihn speziell eine kooperative Robotiklösung für den Automobilbau.



## ► Erweiterung des Netzwerks

### ENRICH eröffnet europäischen Standort in Brüssel

Die ENRICH Initiative (European Network of Research and Innovation Centres and Hubs) eröffnete am 18. April 2018 ihren ersten Sitz in Europa. Mit dem Ziel, eine verstärkte Zusammenarbeit in den Bereichen Innovation, Technologie und Entrepreneurship aufzubauen, gab es bereits 2017 erfolgreiche Anfänge in Brasilien, China und den USA. Mit der Dependance in Brüssel folgt nun ein zentraler Standort für das europäische Netzwerk. An der Eröffnung nahmen Vertreter der Europäischen Kommission sowie der EU-Mitgliedstaaten und hochrangige Innovations- und Wirtschaftsakteure teil.

Das europäische Büro wird als Vermittler zwischen europäischen Kunden und ihren Pendanten in Brasilien, China und den USA fungieren. Darüber hinaus wird es eine Anlaufstelle für europäische Organisationen sein, die daran interessiert sind, ihre Aktivitäten auf dem brasilianischen, chinesischen oder amerikanischen Markt auszuweiten.



Zur Eröffnung des Standortes trafen sich die Mitglieder des europäischen Netzwerks in Brüssel. © EBN

#### ■ Ihre Ansprechpartnerin

Johanna Haunschild  
Telefon: +49 30 39006-337  
johanna.haunschild@ipk.fraunhofer.de

## ► Lange Nacht der Wissenschaften

### Einblicke in die Forschung am PTZ Berlin

Am 10. Juni 2018 öffnete das Produktionstechnische Zentrum im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaften die Tore zur »Fabrik der Zukunft«. Über 400 Gäste erlebten Neuheiten aus der Grundlagen- und angewandten Forschung zum Greifen nah: Neben dem Gurkenroboter »CATCH« konnte »CareJack«, ein Smart-Robotics-System zur Ergonomieverbesserung und Unterstützung des Bewegungsapparates in Dienstleistung und Industrie ausprobiert werden. Ein paar Schritte weiter konnten Besucher mittels VR-Brille einen Rundgang durch die smarte Produktion der Zukunft machen. Wer gut vorbereitet war, brachte ein eigenes Überraschungsei mit. Mit Hilfe von Computertomografie konnte man noch vor dem Auspacken gemeinsam mit unseren Wissenschaftlern einen Blick in das Innere werfen.

Highlight war in diesem Jahr die Licht- und Musikshow im Versuchsfeld von Fraunhofer IPK und IWF der TU Berlin. In wechselnden Farben und zu Klängen des Boléro des französischen Komponisten Maurice Ravel kam die Architektur der 3.200 m<sup>2</sup> großen, kreisrunden Halle besonders eindrucksvoll zur Geltung.



#### ■ Ihre Ansprechpartnerin

Claudia Engel  
Telefon: +49 30 39006-238  
claudia.engel@ipk.fraunhofer.de



## ► SPACE UP

### Kick-off für europaweites Projekt

Am 14. Juni 2018 fand der offizielle Kick-off des EU-Horizont 2020-Projekts SPACE-UP (Assisting European SPACE start-ups in scaling UP) in Bremen statt. In Kooperation mit neun weiteren Partnern, darunter dem Netzwerk der Luft- und Raumfahrtunternehmen AVIASPACE BREMEN, dem European Business Angels Network und der italienischen Crowdfunding-Plattform 200crowd.com, unterstützt der Bereich Unternehmensmanagement des Fraunhofer IPK im Rahmen des Projektes europäische Start-ups aus der Luft- und Raumfahrt bei ihren Wachstumsplänen.

Über die Projektlaufzeit von drei Jahren werden 60 Start-ups ausgewählt, die durch maßgeschneiderte Coaching-Angebote, individuelle Beratung sowie Kontaktvermittlung gezielt gefördert werden. Einen wesentlichen Bestandteil des Projektes stellen die zweitägigen Space Academies an sechs verschiedenen europäischen Standorten dar. Jeweils zehn ausgewählte Start-ups sollen vor Ort gecoacht werden und an Networking-Aktivitäten teilnehmen können. Die erste Space Academy ist in der ersten Jahreshälfte 2019 geplant.



Zum Kick-off des Projektes SPACE-UP trafen sich die Kooperationspartner in Bremen. (© AVIASPACE BREMEN / Irene Walsh)

#### ■ Ihr Ansprechpartner

Erik Steinhöfel

Telefon: +49 30 39006-371

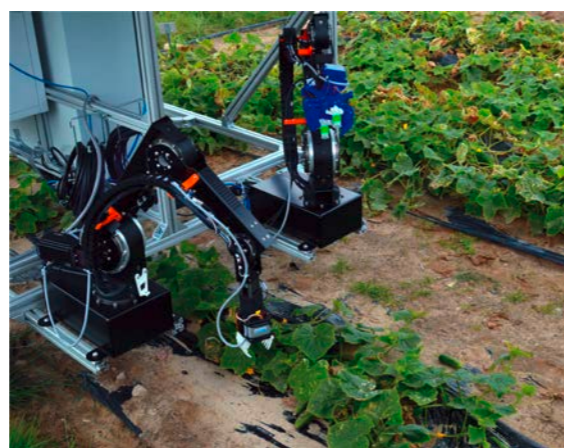
erik.steinhoefel@ipk.fraunhofer.de

## ► Robotik live auf der automatica

### Fraunhofer IPK führt Automatisierungslösungen vor

Vom 19. bis zum 22. Juni präsentierte das Fraunhofer IPK auf der diesjährigen automatica in München zwei Technologie-Innovationen aus dem Bereich Robotik erstmals live auf einer Messe. Der Leichtbau-Roboter CATCH für die automatisierte Gurkenenernte wird in einem kooperativen Projekt von Fraunhofer IPK und dem Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB) sowie dem CSIC-UPM Centre for Automation and Robotics in Spanien entwickelt. Auf der automatica wurde er erstmals öffentlich in Aktion gezeigt: In einem künstlichen Garten erkennt CATCH Kunststoff-Gurken zwischen grünen Blättern und pflückt diese zuverlässig.

Die softrobotische Orthese CareJack ist ein Wearable-Robotics-System für den Oberkörper, das in Kooperation mit der CBT – customized bionic technology und dem Fraunhofer IZM zur Ergonomieverbesserung und Bewegungsunterstützung in Produktion, Logistik und Dienstleistung entwickelt wurde. In der neuesten Version verfügt CareJack über passive Hüftbügel, die die Aufrichtung des Oberkörpers unterstützen und so eine intuitive Kraftunterstützung leisten. Die dafür notwendige Energie wird aus den Bewegungen des Trägers gewonnen.



CATCH (oben) und CareJack (rechts) im Einsatz.



#### ■ Ihre Ansprechpartner

Dr.-Ing. Dragoljub Surdilovic

Telefon: +49 30 39006-172

dragoljub.surdilovic@ipk.fraunhofer.de

Henning Schmidt

Telefon: +49 30 39006-149

henning.schmidt@ipk.fraunhofer.de

## ► Augmented Reality beim BMBF

### Digihand stellt virtuelle Anleitung für angehende Elektriker vor

Im Rahmen einer Foyerausstellung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) stellten Vertreter des Verbundprojektes »Digihand« am 2. Juli 2018 Forschungsstaatssekretär Georg Schütte und ausgewählten Mitarbeitern des Ministeriums ein Exponat zur Anwendung von Augmented Reality vor. Unter dem Motto »Arbeitswelten der Zukunft« präsentierten verschiedene Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Kultur Vorschläge für die Neugestaltung von Berufen im Rahmen der Digitalisierung.

Digihand ist ein vom BMBF gefördertes Verbundprojekt des Instituts für Zukunftsstudien und Technologiebewertung des Fraunhofer FOKUS und des IWF der TU Berlin und entwickelt Lösungen für die Fusion von Digitalisierung und Handwerk. Im Rahmen der Ausstellung im BMBF demonstrierten die Projektpartner eine Augmented-Reality-Brille, mit deren Hilfe auszubildende Elektriker die Montage einer Steckdose erlernen können. Durch die virtuelle Projektion von Arbeitsmaterialien und Bedienungshinweisen in das reale Sichtfeld werden die Auszubildenden Schritt für Schritt durch den Arbeitsprozess geführt. Die virtuelle Bedienungsanleitung ist dabei im Rahmen einer Abschlussarbeit am Fachgebiet Montagetechnik und



Forschungsstaatssekretär Georg Schütte testet die Augmented-Reality-Brille zur Montage von Steckdosen. (© BMBF / Hans-Joachim Rickel)

Fabrikbetrieb des IWF der TU Berlin entstanden. Die Ausstellung »Arbeitswelten der Zukunft« findet im Rahmen des gleichnamigen Wissenschaftsjahres statt und kann noch bis Ende 2018 täglich zwischen 10 und 18 Uhr im Berliner Dienstsitz des Bundesforschungsministeriums am Kapelle-Ufer 1 erkundet werden.

#### ■ Ihr Ansprechpartner

Jan Philipp Menn

Telefon: +49 30 314-28887

menn@mf.tu-berlin.de

## ► Besuch aus Kolumbien

### Honorarkonsul Alejandro José Tieck Gaviria

Am 9. Juli 2018 empfing Prof. Rainer Stark, Leiter des Geschäftsfeldes Virtuelle Produktentstehung, den deutschen Honorarkonsul in Medellín, Alejandro José Tieck Gaviria in Begleitung der Präsidenten von acht kolumbianischen Universitäten am Fraunhofer IPK. Grund des Besuchs war eine Deutschlandreise der Delegation mit Stationen bei Forschungseinrichtungen in Bonn, Köln und Berlin. Bei seinem Besuch am Fraunhofer IPK informierte sich der Honorarkonsul über das Fraunhofer-Modell in Deutschland sowie das PDM/PLM Competence Center. Die Präsidenten zeigten besonderes Interesse an der Forschung in den Bereichen Digitale Zwillinge und der additiven Fertigung.

Bei einer Führung durch das Versuchsfeld konnten sich die Gäste von den anwendungsorientierten Technologien des Fraunhofer IPK live überzeugen. Highlight war ein Beispiel aus der Agrarrobotik, bei dem der Ernte-Roboter CATCH in Aktion gezeigt wurde.



Der Honorarkonsul (6.v.r.) und die Delegation kolumbianischer Universitätspräsidenten besichtigen die Versuchshalle des Fraunhofer IPK.

#### ■ Ihr Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark

Telefon: +49 30 39006-243

rainer.stark@ipk.fraunhofer.de



## ► Hoher Gast aus China

### Forschungsminister Wang Zhigang

Am 10. Juli 2018 begrüßten Prof. Eckart Uhlmann, Institutsleiter des Fraunhofer IPK, und Prof. Holger Kohl, Leiter des Geschäftsfeldes Unternehmensmanagement, den chinesischen Forschungsminister Wang Zhigang am Fraunhofer IPK. Der Minister war in Begleitung einer Delegation des chinesischen Ministerpräsidenten Li Keqiang nach Deutschland gekommen, um an den 5. Deutsch-Chinesischen Regierungskonsultationen mit Kanzlerin Angela Merkel am 9. Juli im Bundeskanzleramt teilzunehmen. Am gleichen Tag besuchte Zhigang Bundesforschungsministerin Anja Karliczek im Bundesministerium für Bildung und Forschung. Dabei einigten sie sich auf eine verstärkte Kooperation in der Klimaforschung und eine Zusammenarbeit in den Bereichen Industrie 4.0, Berufsbildung sowie den Geistes- und Sozialwissenschaften.

Auch beim Besuch am Fraunhofer IPK war für Wang Zhigang, der seit März 2018 Minister des Ministry of Science and Technology (MOST) der Volksrepublik China ist, Industrie 4.0 eines der Schwer-

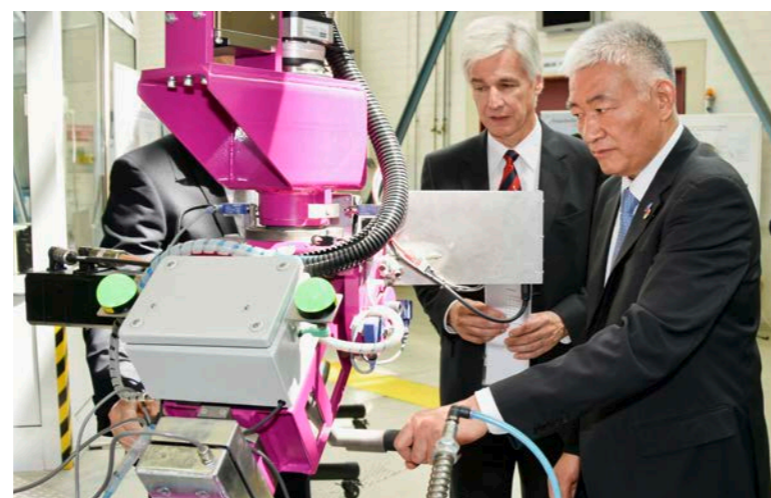
punktthemen. Er war besonders an der engen Verzahnung von Grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung am Fraunhofer IPK interessiert und zeigte sich beeindruckt von der Manufacturing Intelligence der Digitalen Zwillinge, die er bei einer Führung durch das Versuchsfeld live erlebte. Dabei testete er selbst einen Demonstrator für Smarte Produktionsumgebungen des Leistungszentrums »Digitale Vernetzung« und freute sich über das personalisierte Präsent, das der Digitale Zwilling einer Smart Factory Cell speziell für ihn herstellte.

Abschließend bekräftigte der Minister sein Interesse an einer zukünftigen Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPK und lud zu weiteren Gesprächen nach China ein. Wie auch chinesische Forschungseinrichtungen und Universitäten eine stärkere Anwendungsorientierung nach dem Fraunhofer-Vorbild erreichen können, könnte dann ein Thema sein, so Wang Zhigang.

#### ■ Ihr Ansprechpartner

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann  
Telefon: +49 30 39006-100  
eckart.uhlmann@ipk.fraunhofer.de

*Im Uhrzeigersinn: Prof. Eckart Uhlmann, Institutsleiter des Fraunhofer IPK, begrüßt den chinesischen Forschungsminister Wang Zhigang. Der Minister unterzog den Digitalen Zwilling einem VIP-Test. Was wir unter human-zentrierter Robotik verstehen, konnte Wang Zhigang live an einem Kobot erfahren. Anschließend zeigte er sich beeindruckt davon, welche komplexe Bauteile mit additiven Technologien gefertigt werden können.*



## ► Termine

### Mehr Können – Veranstaltungen 2018

Unsere Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung präsentieren wir regelmäßig auf Messen, Konferenzen, Technologietagen, Industrieworkshops und in Seminaren. Wo und wann Sie mit uns ins Gespräch kommen können, verrät Ihnen unser Terminkalender.

10. – 15. September 2018	International Manufacturing Technology Show, Chicago, USA
14. September 2018	Seminar: Wissensmanagement im Kontext der ISO 9001:2015
27. September 2018	IAK: Keramikbearbeitung
27. September 2018	Technologietag: Smart Quality
Oktober 2018	M.Sc. Global Production Engineering
11. Oktober 2018	Technologietag: Digital integrierte Produktion – Konkrete Lösungen für die Praxis
23. – 25. Oktober 2018	parts2clean
08. – 09. November 2018	Seminar: Wissensbilanz – Made in Germany
12. – 16. November 2018	Fraunhofer-Zertifikatsprogramm PLM Professional
14. – 16. November 2018	Seminar: Grundlagen der industriellen Bauteilreinigung
27. November 2018	Konferenz: Berliner Requirements Engineering Symposium
29. – 30. November 2018	Kantenworkshop

Detaillierte Informationen zu allen Veranstaltungen und Möglichkeiten zur Anmeldung finden Sie unter

☞ [www.ipk.fraunhofer.de/weiterbildung](http://www.ipk.fraunhofer.de/weiterbildung)

## TIPP ► Digital Integrierte Produktion

### Technologietag am 11. Oktober 2018 im PTZ

Auf unserem Technologietag präsentieren wir im Industrie 4.0 Lab am Fraunhofer IPK neue Digitalisierungstechnologien und zeigen konkrete Lösungen für die Praxis. Wir hinterfragen kritisch aktuelle Trends und Entwicklungen und diskutieren gemeinsam mit Ihnen, was davon mehr Wunsch als Wirklichkeit ist und welche Szenarien tatsächlich sinnvoll und umsetzbar sind. In unserem Versuchsfeld erleben Sie unsere Technologien live und können vor Ort prüfen, welche Potenziale und Nutzen sich ganz konkret für Sie als Anwenderin und Anwender ergeben.

Unsere Themen im Überblick:

- Technologien für die »Digital Integrierte Produktion«
- Live-Demonstration digitaler Lösungen für die Produktion
- Strategien und Anwendungsszenarien in der industriellen Praxis
- Kooperation und Initiierung neuer Projekte im Transferzentrum »Industrie 4.0 Lab« des Leistungszentrums »Digitale Vernetzung«.

Weitere Informationen und Anmeldung:

☞ [www.ipk.fraunhofer.de/weiterbildung](http://www.ipk.fraunhofer.de/weiterbildung)



#### ■ Ihr Ansprechpartner

Eckhard Hohwieler  
Telefon: +49 30 39006-121  
eckhard.hohwieler@ipk.fraunhofer.de



## Kurzprofil

### Produktionstechnisches Zentrum (PTZ) Berlin

Das Produktionstechnische Zentrum PTZ Berlin umfasst das Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb IWF der Technischen Universität Berlin und das Fraunhofer -Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK.

Im PTZ werden Methoden und Technologien für das Management, die Produktentwicklung, den Produktionsprozess und die Gestaltung industrieller Fabrikbetriebe erarbeitet. Zudem erschließen wir auf Grundlage unseres fundierten Know-hows neue Anwendungen in zukunftsreichen Gebieten wie der Sicherheits-, Verkehrs- und Medizintechnik.

Besonderes Ziel des PTZ ist es, neben eigenen Beiträgen zur anwendungsorientierten Grundlagenforschung neue Technologien in enger Zusammenarbeit mit der Wirtschaft zu entwickeln. Das PTZ überführt die im Rahmen von Forschungsprojekten erzielten Basisinnovationen gemeinsam mit Industriepartnern in funktionsfähige Anwendungen.

Wir unterstützen unsere Partner von der Produktidee über die Produktentwicklung und die Fertigung bis hin zur Wiederverwertung mit von uns entwickelten oder verbesserten Methoden und Verfahren. Hierzu gehört auch die Konzipierung von Produktionsmitteln, deren Integration in komplexe Produktionsanlagen sowie die Innovation aller planenden und steuernden Prozesse im Unternehmen.



### Ihre Ansprechpartner im PTZ Berlin

#### Unternehmensmanagement

Prof. Dr.-Ing. Holger Kohl  
Telefon: +49 30 39006-233  
holger.kohl@ipk.fraunhofer.de

#### Virtuelle Produktentstehung, Industrielle Informationstechnik

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark  
Telefon: +49 30 39006-243  
rainer.stark@ipk.fraunhofer.de

#### Produktionssysteme, Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann  
Telefon: +49 30 39006-101  
eckart.uhlmann@ipk.fraunhofer.de

#### Füge- und Beschichtungstechnik (IPK)

Prof. Dr.-Ing. Michael Rethmeier  
Telefon: +49 30 3104-1550  
michael.rethmeier@ipk.fraunhofer.de

#### Beschichtungstechnik (IWF)

Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Rupprecht  
Telefon: +49 30 314-25176  
rupprecht@tu-berlin.de

#### Automatisierungstechnik, Industrielle Automatisierungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger  
Telefon: +49 30 39006-178  
joerg.krueger@ipk.fraunhofer.de

#### Montagetechnik und Fabrikbetrieb

Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger (komm.)  
Telefon: +49 30 39006-181  
joerg.krueger@ipk.fraunhofer.de

#### Qualitätswissenschaft

Prof. Dr.-Ing. Roland Jochem  
Telefon: +49 30 314-22004  
roland.jochem@tu-berlin.de

### Fraunhofer - Innovationscluster

#### LCE Life Cycle Engineering

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann  
Telefon: +49 30 39006-100  
eckart.uhlmann@ipk.fraunhofer.de

#### Next Generation ID

Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger  
Telefon: +49 30 39006-178  
joerg.krueger@ipk.fraunhofer.de

### Fraunhofer -Allianzen

#### AdvanCer

Hochleistungskeramik  
Christian Schmiedel  
Telefon: +49 30 39006-267  
christian.schmiedel@ipk.fraunhofer.de

#### autoMOBILproduktion

Dipl.-Ing. Eckhard Hohwieler  
Telefon: +49 30 39006-121  
eckhard.hohwieler@ipk.fraunhofer.de

#### Big Data

Dipl.-Ing. Kai Lindow  
Telefon: +49 30 39006-214  
kai.lindow@ipk.fraunhofer.de

#### Generative Fertigung

Dipl.-Ing. André Bergmann  
Telefon: +49 39006-107  
andre.bergmann@ipk.fraunhofer.de

#### Numerische Simulation von Produkten, Prozessen

Sebastian Uhlemann  
Telefon: +49 30 39006-124  
sebastian.uhlemann@ipk.fraunhofer.de

#### Reinigungstechnik

Dr.-Ing. Sascha Reinkober  
Telefon: +49 30 39006-326  
sascha.reinkober@ipk.fraunhofer.de

#### SysWasser

Dipl.-Ing. Gerhard Schreck  
Telefon: +49 30 39006-152  
gerhard.schreck@ipk.fraunhofer.de

#### Verkehr

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann  
(komm.)  
Telefon: +49 30 39006-101  
eckart.uhlmann@ipk.fraunhofer.de

### Arbeitskreise

#### Berliner Runde (Werkzeugmaschinen)

Simon Thom, M. Sc.  
Telefon: +49 30 314-24456  
simon.thom@iwf.tu-berlin.de

#### Keramikbearbeitung

Alexander Eulitz, M. Sc.  
Telefon: +49 30 314-24963  
eulitz@iwf.tu-berlin.de

#### Mikroproduktionstechnik

Dr.-Ing. Mitchel Polte  
Telefon: +49 30 39006-434  
mitchel.polte@ipk.fraunhofer.de

#### Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe

Kristin Kropidlowski  
Telefon: +49 30 314-21235  
kristin.kropidlowski@iwf.tu-berlin.de

### Kompetenzzentren

#### Additive Fertigung

Dipl.-Ing. André Bergmann  
Telefon: +49 39006-107  
andre.bergmann@ipk.fraunhofer.de

#### Anwendungszentrum Mikroproduktionstechnik (AMP)

Dr.-Ing. Julian Polte  
Telefon: +49 30 39006-433  
julian.polte@ipk.fraunhofer.de

#### Benchmarking

Dr.-Ing. Ronald Orth  
Telefon: +49 30 39006-171  
ronald.orth@ipk.fraunhofer.de

#### PDM/PLM

Dr.-Ing. Kai Lindow  
Telefon: +49 30 39006-214  
kai.lindow@ipk.fraunhofer.de

#### Prozessmanagement

Prof. Dr.-Ing. Thomas Knothe  
Telefon: +49 30 39006-195  
thomas.knothe@ipk.fraunhofer.de

#### Simulation und Fabrikplanung

Prof. Dr.-Ing. Thomas Knothe  
Telefon: +49 30 39006-195  
thomas.knothe@ipk.fraunhofer.de

#### dip – Digital Integrierte Produktion

Dipl.-Ing. Eckhard Hohwieler  
Telefon: +49 30 39006-121  
eckhard.hohwieler@ipk.fraunhofer.de

#### Veranstaltungsmanagement

**MEHR KÖNNEN**  
Claudia Engel  
Telefon: +49 30 39006-238  
claudia.engel@ipk.fraunhofer.de

#### Virtual Reality Solution Center (VRSC)

Dipl.-Sporting. Andreas Geiger  
Telefon: +49 30 39006-109  
andreas.geiger@ipk.fraunhofer.de

#### Wissensmanagement

Dr.-Ing. Ronald Orth  
Telefon: +49 30 39006-171  
ronald.orth@ipk.fraunhofer.de

#### Zentrum für Innovative Produktentstehung (ZIP)

Dr.-Ing. Kai Lindow  
Telefon: +49 30 39006-214  
kai.lindow@ipk.fraunhofer.de