



Fraunhofer

ILT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR LASERTECHNIK ILT

JAHRESBERICHT
2018



JAHRESBERICHT 2018

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Steinbachstraße 15
52074 Aachen
Telefon +49 241 8906-0
Fax +49 241 8906-121

info@ilt.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de

»Veränderungen beinhalten
die Chance sowohl zur
Kultivierung von Bewährtem
als auch zur
Gestaltung von Neuem.«

Prof. Reinhart Poprawe

Liebe Leserinnen und Leser,

»Die Zeiten ändern sich und wir uns in ihnen.« Bereits vor unserer Zeitrechnung formulierte Ovid diese unumstößliche Wahrheit. Dass wir uns mit den Zeiten und in unserem speziellen Arbeitspunkt der Forschung mit dem Anspruch der Innovation schnell und teilweise extrem ändern müssen, wenn wir erfolgreich sein wollen, ist dabei keine Neuigkeit. Aber wie funktioniert eigentlich diese Veränderung?

Unserer Natur entsprechend erfolgt zunächst eine Reaktion, die der Störung des Gleichgewichts mit einer Minimierung des Zwanges begegnet. Gemäß dem von Chatelier verallgemeinerten Newtonschen Gesetz »actio gleich reactio« müssten größere Änderungen von Randbedingungen zu umso größerer Veränderung unseres Denkens führen. Das entspricht aber nun so gar nicht unserer Natur! Je größer die gesammelte Erfahrung ist, je intensiver sich Erfolgsrezepte in unserem Verhalten verankert haben, umso resistenter verhält sich das System bei großen Veränderungen der äußeren Randbedingungen. Dies gilt sowohl für Individuen wie auch für Organisationen.

Ein Kind lernt schnell, weil es keinen komplexen Erfahrungsraum verändern muss. Ein Wissenschaftler kann sich diesen Drang durch Neugier erhalten. Ein erwachsener »ausgelernter« Mensch hat seine gesammelten Erfahrungen in Strukturen abgelegt und genau die hindern die eigentlich natürliche, zum externen Impuls in erster Näherung proportionale Reaktion. Die Veränderung fällt schwer und die Ursachen dazu werden nur zu gerne einfach ignoriert. Um bei großen Veränderungen hohe Veränderungsbereitschaft zu ermöglichen, müssen wir nun also gezielt Erfahrungen löschen, um den neuen Gedanken und angemessenen Reaktionen Raum zu geben.

Das Fraunhofer ILT ist sehr gut aufgestellt, um die anstehenden technologischen Herausforderungen anzunehmen. Ergänzend zu den industriellen Fragestellungen kooperieren wir eng mit den Lehrstühlen der RWTH Aachen University, beispielsweise im Forschungscampus Digital Photonic Production DPP, um neue grundlegende Erkenntnisse zu erarbeiten und innovative Impulse in unserer Laser Community zu generieren. Überzeugen Sie sich selbst anhand der zahlreichen Projektbeispiele dieses Jahresberichts von der Qualität unserer FuE-Arbeiten und zögern Sie nicht, uns bei Interesse zu kontaktieren. Wir lieben kurze Wege und den unmittelbaren Dialog.

Im Jahr 2019 wird sich das Gesicht des Hauptverantwortlichen am Fraunhofer ILT verändern. Wir wissen heute nicht, ob das große oder zunächst kleine Veränderungen bringen wird, aber sicher ist, dass diese Veränderungen die Chance sowohl zur Überprüfung und Kultivierung von Bewährtem als auch zur Identifizierung und Gestaltung von neuem Potenzial beinhalten. Dazu wünsche ich allen Mitarbeitern im Institut, den Lehrstühlen und dem Campus der RWTH Aachen University viel Erfolg und den Kunden noch mehr Nutzen aus dem, was wir hier täglich versuchen, nämlich die Schaffung neuer Voraussetzungen für Innovationen, die unserem Land und Europa den Weg in eine noch bessere Zukunft ermöglichen.

Ihr



Prof. Dr. rer. nat. Reinhart Poprawe



10

FuE-HIGHLIGHTS



22

THEMENSCHWERPUNKTE



30

FORSCHUNGSERGEBNISSE



106

NETZWERKE UND CLUSTER



132

VERANSTALTUNGEN
UND PUBLIKATIONEN

INHALT

DATEN UND FAKTEN

- 6 Leitbild
- 8 Das Institut im Profil
- 10 FuE-Highlights
- 12 Institutsstruktur
- 14 Das Institut in Zahlen
- 16 Auszeichnungen und Preise
- 18 Nachwuchsförderung
- 20 Alumni-Netzwerk

THEMENSCHWERPUNKTE

- 22 Mobilität
- 24 Produktion
- 26 Gesundheit
- 28 Umwelt

FORSCHUNGSERGEBNISSE

- 30 Aus den Technologiefeldern
- 32 Laser und Optik
- 46 Lasermaterialbearbeitung
- 90 Medizintechnik und Biophotonik
- 98 Lasermesstechnik und EUV-Technologie

NETZWERKE UND CLUSTER

- 107 Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick
- 108 Fraunhofer-Verbund »Light & Surfaces«
- 110 Strategische Fraunhofer-Projekte
- 112 Fraunhofer-Allianzen und Leistungszentren
- 114 Fraunhofer Cluster of Excellence
- 116 Lasertechnik an der RWTH Aachen University
- 119 Digital Photonic Production DPP
- 120 RWTH Aachen Campus
- 121 Cluster Photonik
- 124 Forschungscampus DPP
- 126 Ausgründungen
- 128 Standortinitiativen
- 130 Kooperationen und Verbände
- 131 Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.

VERANSTALTUNGEN UND PUBLIKATIONEN

- 133 Patente
- 136 Dissertationen
- 137 Veranstaltungen
- 141 Messen
- 145 Kundenreferenzen
- 146 Zuwendungsgeber
- 147 Impressum

LEITBILD

MISSION

Wir nehmen beim Transfer der Lasertechnik für die Nutzung in der Wirtschaft eine internationale Spitzenposition ein. Wir erweitern Wissen und Know-how unserer Branche, initiieren Zukunftstrends und tragen so maßgeblich zur Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik bei.

KUNDEN

Wir arbeiten kundenorientiert. Diskretion, Fairness und Partnerschaftlichkeit haben für uns im Umgang mit unseren Kunden oberste Priorität. Entsprechend der Anforderung und Erwartung unserer Kunden erarbeiten wir Lösungen und deren wirtschaftliche Umsetzung. Wir wollen, dass unsere Kunden zufrieden sind und gerne wiederkommen.

CHANCEN

Konzentriert auf Kernkompetenzen erweitern wir systematisch unser Wissen. Wir bauen unser Netzwerk bestehend aus industriellen und institutionellen Partnern mit sich ergänzenden Leistungen aus und realisieren strategische Kooperationen. Wir agieren verstärkt auf internationalen Märkten.

FASZINATION LASER

Wir sind fasziniert von den einzigartigen Eigenschaften des Laserlichts und der daraus resultierenden Vielseitigkeit der Anwendungen. Uns begeistert die Möglichkeit, durch technologische Spitzenleistungen und erstmalige industrielle Umsetzung internationale Maßstäbe zu setzen.

MITARBEITER

Das Zusammenwirken von Individuum und Team ist Basis unseres Erfolgs. Jeder von uns arbeitet eigenverantwortlich, kreativ und zielorientiert. Dabei gehen wir sorgfältig, zuverlässig und ressourcenbewusst vor. Wir bringen unsere individuellen Stärken in das Team ein und gehen respektvoll und fair miteinander um. Wir arbeiten interdisziplinär zusammen.

STÄRKEN

Wir haben ein breites Spektrum an Ressourcen. Wir liefern innovative und wirtschaftliche Lösungen und bieten FuE, Beratung und Integration aus einer Hand. Wir arbeiten auf der Basis eines zertifizierten Qualitätsmanagementsystems.

FÜHRUNGSSTIL

Kooperativ, fordernd und fördernd. Die Wertschätzung unserer Mitarbeiter als Person, ihres Know-hows und ihres Engagements ist die Basis unserer Führung. Wir binden unsere Mitarbeiter in die Erarbeitung von Zielen und in Entscheidungsprozesse ein. Wir legen Wert auf effektive Kommunikation, zielgerichtete und effiziente Arbeit und klare Entscheidungen.

POSITION

Unsere Kompetenzen erstrecken sich entlang der Kette Strahlquelle, Bearbeitungs- und Messverfahren über die Anwendung bis hin zur Integration einer Anlage in die Produktionslinie des Kunden. Wir arbeiten in einem dynamischen Gleichgewicht zwischen anwendungsorientierter Grundlagenforschung und Entwicklung. Wir wirken aktiv an der Formulierung und Gestaltung forschungspolitischer Ziele mit.



DAS INSTITUT IM PROFIL



KURZPORTRAIT

ILT – dieses Kürzel steht seit mehr als 30 Jahren für gebündeltes Know-how im Bereich Lasertechnik. Innovative Lösungen von Fertigungs- und Produktionsaufgaben, Entwicklung neuer technischer Komponenten, kompetente Beratung und Ausbildung, hochspezialisiertes Personal, neuester Stand der Technik sowie internationale Referenzen: dies sind die Garantien für langfristige Partnerschaften. Die zahlreichen Kunden des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT stammen aus Branchen wie dem Automobil- und Maschinenbau, der Chemie und der Elektrotechnik, dem Flugzeugbau, der Feinmechanik, der Medizintechnik und der Optik. Mit über 540 Mitarbeitern und mehr als 19.500 m² Nettogrundfläche zählt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten seines Fachgebiets.

Die vier Technologiefelder des Fraunhofer ILT decken ein weites Themenspektrum in der Lasertechnik ab. Im Technologiefeld »Laser und Optik« entwickeln wir maßgeschneiderte Strahlquellen sowie optische Komponenten und Systeme. Das Spektrum reicht von Freiformoptiken über Dioden- und Festkörperlaser bis hin zu Faser- und Ultrakurzpulslasern. Neben der Entwicklung, Fertigung und Integration von Komponenten und Systemen befassen wir uns auch mit Optikdesign, Modellierung und Packaging. Aufgabenstellungen zum Schneiden, Abtragen, Bohren, Reinigen, Schweißen, Lötten, Beschriften sowie zur Oberflächenbearbeitung und Mikrofertigung lösen wir im Technologiefeld »Lasermaterialbearbeitung«. Im Vordergrund stehen Verfahrensentwicklung und Systemtechnik. Dies schließt Maschinen- und Steuerungstechnik genauso ein wie Prozess- und Strahlüberwachung sowie Modellierung und Simulation. Experten des Technologiefelds »Medizintechnik und Biophotonik« erschließen gemeinsam mit Partnern aus den Lebenswissenschaften neue Anwendungen des Lasers

in der Bioanalytik, der Lasermikroskopie, der klinischen Diagnostik, der Lasertherapie, der Biofunktionalisierung und der Biofabrication. Auch die Entwicklung und Fertigung von Implantaten, mikrochirurgischen und mikrofluidischen Systemen und Komponenten zählen zu den Kernaktivitäten. Im Technologiefeld »Lasermesstechnik und EUV-Technologie« entwickeln wir für unsere Kunden Verfahren und Systeme zur Inline-Messung physikalischer und chemischer Größen in einer Prozesslinie. Neben der Fertigungsmesstechnik und der Materialanalytik liegen Umwelt und Sicherheit sowie Recycling und Rohstoffe im Fokus der Auftragsforschung. Mit der EUV-Technologie stoßen wir in die Submikrometerwelt der Halbleitertechnik und Biologie vor.

Unter einem Dach bietet das Fraunhofer ILT Forschung und Entwicklung, Systemaufbau und Qualitätssicherung, Beratung und Ausbildung. Zur Bearbeitung der Forschungs- und Entwicklungsaufträge stehen zahlreiche industrielle Lasersysteme verschiedener Hersteller sowie eine umfangreiche Infrastruktur zur Verfügung. Im angrenzenden Forschungscampus »Digital Photonic Production DPP« arbeiten mit dem Fraunhofer ILT kooperierende Unternehmen in eigenen Labors und Büroräumen. Grundlage für diese spezielle Form des Technologietransfers ist ein langfristiger Kooperationsvertrag mit dem Institut im Bereich der Forschung und Entwicklung. Der Mehrwert liegt in der Nutzung der technischen Infrastruktur und dem Informationsaustausch mit Experten des Fraunhofer ILT. Rund 20 Unternehmen nutzen diese Vorteile bereits. Neben etablierten Laserherstellern und innovativen Laseranwendern finden hier Neugründer aus dem Bereich des Sonderanlagenbaus, der Laserfertigungstechnik und der Lasermesstechnik ein geeignetes Umfeld zur industriellen Umsetzung ihrer Ideen.



DQS zertifiziert nach
DIN EN ISO 9001
Reg.-Nr.: DE-69572-01

UNSER ANGEBOT

Das Leistungsspektrum des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT wird ständig den Erfordernissen der industriellen Praxis angepasst und reicht von der Lösung fertigungstechnischer Problemstellungen bis hin zur Durchführung von Testserien. Im Einzelnen umfasst das Angebot:

- Laserstrahlquellenentwicklung
- Komponenten und Systeme zur Strahlführung und -formung
- Packaging optischer Hochleistungskomponenten
- Modellierung und Simulation von optischen Komponenten sowie lasertechnischen Verfahren
- Verfahrensentwicklung für die Lasermaterialbearbeitung, die Lasermesstechnik, die Medizintechnik und die Biophotonik
- Prozessüberwachung und -regelung
- Muster- und Testserien
- Entwicklung, Aufbau und Test von Pilotanlagen
- Integration von Lasertechnik in bestehende Produktionsanlagen oder Messsysteme
- Entwicklung von Röntgen-, EUV- und Plasmasystemen

KOOPERATIONSFORMEN

Kooperationen des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT mit FuE-Partnern können verschiedene Formen annehmen:

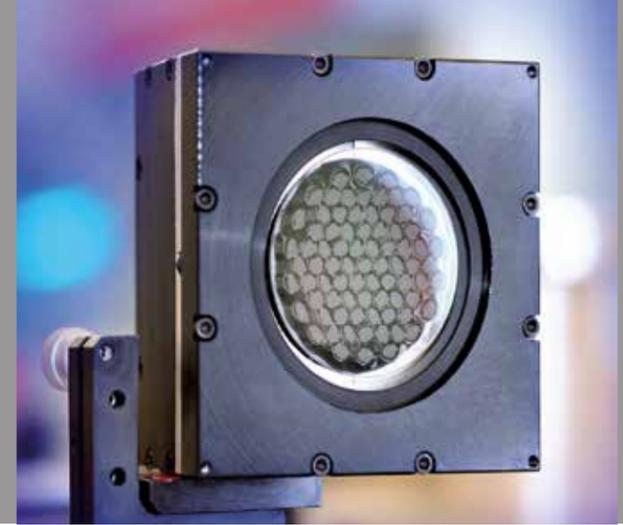
- Durchführung von bilateralen, firmenspezifischen FuE-Projekten mit und ohne öffentliche Unterstützung (Werkvertrag)
- Beteiligung von Firmen an öffentlich geförderten Verbundprojekten (Mitfinanzierungsvertrag)
- Übernahme von Test-, Null- und Vorserienproduktion durch das Fraunhofer ILT zur Ermittlung der Verfahrenssicherheit und zur Minimierung des Anlauftrisikos (Werkvertrag)
- Firmen mit Niederlassungen auf dem Campusgelände der RWTH Aachen University und Kooperationen über den Forschungscampus »Digital Photonic Production DPP«

Durch die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und spezialisierten Unternehmen bietet das Fraunhofer ILT auch bei fachübergreifenden Aufgabenstellungen Problemlösungen aus einer Hand. Ein besonderer Vorteil ist in diesem Zusammenhang der direkte Zugriff auf die umfangreichen Ressourcen der Fraunhofer-Gesellschaft.

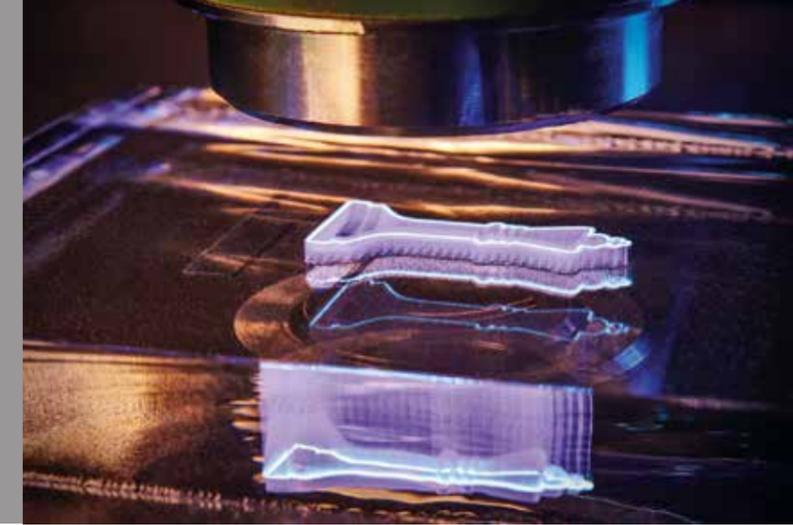
HIGHLIGHTS



VCSEL-Vorwärmung für das Laser Powder Bed Fusion (LPBF).



EU-Projekt »ultraSURFACE«: Piezoelektrisch deformierbarer Spiegel (PDM) zur High-Speed-Veredelung von Oberflächen.



Hochpräzise und schnelle Herstellung von 3D-Bauteilen aus Glas mit maßgeschneiderter UKP-Laserstrahlung.

FuE-HIGHLIGHTS 2018

Oberflächen mit High-Speed veredeln

Im EU-Forschungsprojekt »Ultra Dynamic Optical Systems for High Throughput Laser Surface Processing – ultraSURFACE« entwickelte das Fraunhofer ILT mit neun internationalen Partnern zwei neue Optiken, dank derer Laser künftig zehn Mal schneller als bisher Oberflächen polieren, beschichten oder strukturieren können, bei gleichzeitiger signifikanter Kostenreduktion.

Zum einen sorgt ein piezoelektrisch kontinuierlich deformierbarer Spiegel beim Laserpolieren dafür, dass sich der Laserstrahl mit Schaltzeiten von unter fünf Millisekunden an die sich ständig ändernde Bearbeitungssituation anpasst. Zum anderen teilt ein diffraktives optisches Element den Laserstrahl in ein quadratisches Strahlbündel von vier Teilstrahlen auf. Jeder einzelne davon wird in seiner Position im Millisekundentakt angepasst, sodass eine Bearbeitung ohne Verzerrung möglich ist.

Flexibles Hochgeschwindigkeitsschneiden von Blechbändern löst Stanzprozess ab

Insbesondere in den Bereichen hybrider Leichtbau und Elektromobilität wachsen die Anforderungen an die Blechbearbeitung hinsichtlich Flexibilität und Produktivität ständig. Die werkzeuglose Fertigung mit Lasertechnik bietet eine Lösung, um Blechteile mit beliebig variierbaren Schnittkonturen bei maximaler Material- und Gewichtseinsparung trotz schwankender sowie nicht mehr vorhersagbarer Losgrößen wirtschaftlich produzieren zu können. Zusammen mit dem Fraunhofer ILT hat Honda in seinem Werk in Yorii, Japan, das bisherige Stanzen von bis zu 1,8 x 4,0 m großen Stahlblechen mit einer Dicke von 0,5 bis 2,3 mm durch einen extrem schnellen

Laserschneidprozess ersetzt, der mit einer Geschwindigkeit von bis zu 115 m/min arbeitet. Honda erreicht mit dem Laserschneidsystem seit der Einführung im Jahr 2015 eine Ausbringung von 18.700 Karosserieteilen pro Tag. In einem gemeinsamen Projekt mit dem Partner BILSTEIN GmbH & Co. KG aus Hagen sind die Forscher des Fraunhofer ILT noch einen Schritt weiter gegangen: Hier haben sie den Laserschneidprozess für flexibel gewalztes Bandmaterial, bei dem die Dicke des Materials entsprechend den lokalen Anforderungen des späteren Bauteils variiert, sowohl flexibler als auch noch produktiver gestaltet.

Hoch hinaus mit VCSEL-Heizung

Beim Laser Powder Bed Fusion (LPBF) können im generierten Bauteil Spannungen durch Temperaturunterschiede zwischen dem Laserspot und dem übrigen Bauteil entstehen. Je nach Geometrie und Werkstoff kann es dadurch zu Verzug und Rissen im Material kommen. Ein Erhitzen des Bauteils von unten über die Substratplatte reicht insbesondere bei höheren Aufbauten nicht, um dem entgegenzuwirken.

Im Rahmen des Forschungscampus Digital Photonic Production DPP, einer Förderinitiative des BMBF, entwickeln die Experten des Fraunhofer ILT und des RWTH-Lehrstuhls TOS gemeinsam mit dem Partner Philips Photonics einen Aufbau, bei dem das Bauteil im Pulverbett mit Laserdioden von oben erwärmt wird (Verbundprojekt »DPP Nano«). Dafür wird ein Array von sechs vertikal emittierenden Laserbarren (VCSEL) mit je 400 W Leistung in der Prozesskammer installiert. Mit Infrarotstrahlung bei 808 nm kann dieses Array das Bauteil während des Aufbauprozesses von oben auf mehrere hundert Grad Celsius erhitzen. Die Barren werden einzeln angesteuert, sodass auch Abfolgen verschiedener Muster möglich sind. Durch die VCSEL-Heizung verringert sich der thermische Gradient, somit auch die Spannungen und es lassen sich höhere Teile herstellen als mit konventioneller Prozesstechnik.

Laserauftragschweißen mit optimiertem Pulvergasstrahl

Die Zufuhr des Zusatzwerkstoffs spielt bei Anlagen zum Laserauftragschweißen eine entscheidende Rolle. Wissenschaftler des Fraunhofer ILT haben ein Inline-System zur Vermessung, Prüfung und Qualifizierung des fokussierten LMD-Pulvergasstrahls entwickelt. Mit diesem System lassen sich Düsen zertifizieren und Kaustiken vollständig charakterisieren. Anwender können dank Kamera und integrierter Beleuchtung außerdem Prozesse visualisieren und überwachen.

Gemeinsam mit TRUMPF entwickelte das Fraunhofer ILT den maschinenunterstützten Inline-Prozess. Die Systemlösung bietet ein Kameramodul am Laserbearbeitungskopf mit verfahrbarer Optik und Beleuchtung, ein Lasermodul zum Vermessen der Düse und eine Steuerungselektronik. Die Partikeldichteverteilung und Kaustik des Pulvergasstrahls werden damit sehr genau erfasst. Zur Inline-Vermessung des Pulvergasstrahls kann es in jede TRUMPF-LMD-Optik integriert werden.

Additive Fertigung für die Automobilindustrie

Unter Koordination der Daimler AG untersuchten fünf Unternehmen und zwei Forschungsinstitute im Rahmen der BMBF-Förderinitiative »Photonische Prozessketten« die »Integration generativer Fertigungsverfahren in die Automobilserienfertigung – AutoAdd«. Im Mittelpunkt stand die ganzheitliche Integration einer LPBF-Prozesskette (Laser Powder Bed Fusion) in die Serienfertigungsumgebung, um die Stückkosten zu senken.

Die BMW Group und Daimler definierten Anforderungen an die additive Prozesskette, mit deren Hilfe TRUMPF und das Fraunhofer ILT verschiedene LPBF-Anlagen- sowie Endbearbeitungskonzepte entwickelten. Dabei entstanden potenziell serientaugliche Optikkonzepte und eine modulare

Anlagenarchitektur. Zudem analysierten die Projektpartner neuartige, skalierbar produzierte Werkstoffe und nutzten Simulationsmodelle für die Ausgestaltung verschiedener LPBF-Anlagenkonzepte.

Dank der Ergebnisse aus AutoAdd können die Gesamtprozesskette automatisiert und Nebenzeiten eingespart werden. Das Projektteam hat allgemeingültige Kennzahlen zur Bewertung von LPBF-Fertigungsanlagen entwickelt und diese für die gängigsten Anlagenhersteller ermittelt. Die Integration einer wirtschaftlichen additiven Prozesskette in die automobilen Großserienfertigung gilt als möglich.

UKP-Laserstrahlung – geformt nach Kundenwunsch

Laser mit ultrakurzen Pulsen eignen sich hervorragend für die präzise Glasbearbeitung. Wissenschaftler des Fraunhofer ILT entwickeln eine Technologie, die diffraktive und refraktive optische Elemente (DOEs und ROEs) für eine maßgeschneiderte Formung dieser Laserstrahlen nutzt. Damit lassen sich spezielle Strahlprofile oder komplexe Intensitätsmuster erzeugen, wobei die Energie eines Strahls auch auf ein ganzes Array von bis zu 196 gleichartigen Teilstrahlen aufgeteilt werden kann. Glas kann so hochpräzise und schnell bearbeitet oder geschnitten werden.

Anwendungsgebiete finden sich z. B. in der Automobilindustrie: Gemeinsam mit dem Lehrstuhl LLT der RWTH Aachen University sowie TRUMPF und 4JET Technologies arbeitet das Fraunhofer ILT im BMBF-geförderten Forschungscampus Digital Photonic Production DPP an Head-up-Display-Gläsern für Fahrzeuge. Im Projekt »DPP Femto« werden mit den maßgeschneiderten Laserpulsen Mikrometer große Störstellen im Glas erzeugt, die LED-Licht unter einem definierten Winkel reflektieren – und sich damit für die zukünftigen Displaygläser eignen. Alternativ lassen sich auch Sollbruchstellen für ein späteres Laserschneiden von Glas mit besonders sauberen Konturen erzeugen, wobei keine weitere Nachbearbeitung mehr nötig ist.

INSTITUTSSTRUKTUR



Kuratorium des Fraunhofer ILT.

INSTITUTSLEITUNG



Prof. Reinhart Poprawe
Institutsleiter



Prof. Peter Loosen
Stellvertretender Institutsleiter



Dr. Vasvija Alagic-Keller MBA
Kaufmännische Direktorin

VERWALTUNG UND STABSSTELLEN



Dr. Vasvija Alagic-Keller MBA
Verwaltung und Infrastruktur



Dipl.-Phys. Axel Bauer
Marketing und Kommunikation



Dr. Alexander Drenker
Qualitätsmanagement



Dr. Bruno Weikl
IT-Management

KOMPETENZFELDER



Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Laser und Laseroptik



Dr. Arnold Gillner
Abtragen und Fügen



Prof. Johannes Henrich Schleifenbaum
Generative Verfahren
und funktionale Schichten



apl. Prof. Reinhard Noll
Messtechnik und EUV-Strahlquellen

KURATORIUM UND GREMIEN

KURATORIUM

Das Kuratorium berät die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung und fördert die Verbindung zu den an Forschungsarbeiten des Instituts interessierten Kreisen. Mitglieder des Kuratoriums waren im Berichtszeitraum:

VORSITZENDER

C. Baasel, Carl Baasel Lasertechnik GmbH

MITGLIEDER

- Dr. Reinhold E. Achatz, Thyssenkrupp
- Dr. Norbert Arndt, Rolls-Royce plc.
- Dr. Hans Eggers
- Dr. Ulrich Hefter, Rofin-Sinar Laser GmbH
- Dipl.-Ing. Frank Herzog, Concept Laser GmbH
- Dipl.-Ing. Volker Krause, Laserline GmbH
- Dipl.-Ing. Michael Lebrecht, Daimler AG
- Prof. Gerd Marowsky, Laser Laboratorium Göttingen e. V.
- Manfred Nettekoven, Kanzler der RWTH Aachen
- Dr. Joseph Pankert, Philips Photonics GmbH
- Dr. Silke Pflueger
- Prof. René Salathé, ExpertInova AG
- Dr. Torsten Scheller, JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH
- Susanne Schneider-Salomon, Ministerium für Kultur und Wissenschaft
- Dr. Ulrich Steegmüller, OSRAM
- Dr. Klaus Wallmeroth, TRUMPF Laser GmbH + Co. KG

Die 33. Zusammenkunft des Kuratoriums fand am 19. September 2018 im Fraunhofer ILT in Aachen statt.

INSTITUTSLEITUNGS-AUSSCHUSS ILA

Der Institutsleitungsausschuss ILA berät die Institutsleitung und wirkt bei der Entscheidungsfindung über die Grundzüge der Forschungs- und Geschäftspolitik des Instituts mit. Mitglieder des ILA sind: Prof. R. Poprawe, Prof. P. Loosen, Dr. V. Alagic-Keller MBA, Dipl.-Phys. A. Bauer, Dipl.-Ing. T. Biermann, Dipl.-Phys. Dipl.-Volksw. D. Esser, Dr. A. Gillner, Dipl.-Ing. H.-D. Hoffmann, V. Nazery Goneghany, apl. Prof. R. Noll, Dr. D. Petring, Prof. J. H. Schleifenbaum, Prof. W. Schulz, Dr. B. Weikl, Dr. J. Stollenwerk.

ARBEITSSCHUTZ-AUSSCHUSS ASA

Der Arbeitsschutzausschuss ASA ist für die Lasersicherheit und alle anderen sicherheitstechnischen Fragen im Fraunhofer ILT zuständig. Mitglieder des Ausschusses sind: Prof. R. Poprawe, Prof. P. Loosen, Dr. V. Alagic-Keller MBA, M. Brankers, R. Day M.Sc., R. Frömbgen, Dipl.-Ing. (FH) S. Jung, F. Käfer M.Eng., A. Hajdarovic, V. Nazery Goneghany, F. Voigt, Dipl.-Ing. N. Wolf, Dr. R. Keul (Betriebsarzt BA.D), T. Yildirim M.Sc., S. Schoenen M.Eng. (B.A.D Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH).

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHER RAT WTR

Der Wissenschaftlich-Technische Rat WTR der Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt und berät die Organe der Gesellschaft in wissenschaftlich-technischen Fragen von grundsätzlicher Bedeutung. Ihm gehören die Mitglieder der Institutsleitungen und je Institut ein gewählter Vertreter der wissenschaftlich-technischen Mitarbeiter an. Mitglieder im Wissenschaftlich-Technischen Rat sind: Prof. R. Poprawe, Dipl.-Phys. Dipl.-Volksw. D. Esser.

BETRIEBSRAT

Seit März 2003 gibt es am Fraunhofer ILT einen Betriebsrat.

DAS INSTITUT IN ZAHLEN



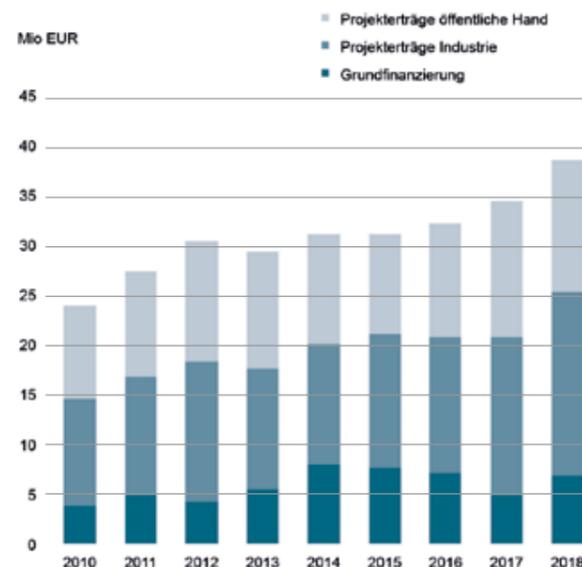
PERSONAL 2018	Anzahl
Stammpersonal	264
- Wissenschaftler und Ingenieure	188
- Mitarbeiter der technischen Infrastruktur	43
- Verwaltungsangestellte	33
Weitere Mitarbeiter	282
- wissenschaftliche Hilfskräfte	275
- externe Mitarbeiter	3
- Auszubildende	4
Mitarbeiter am Fraunhofer ILT, gesamt	546



AUFWENDUNGEN 2018	Mio EUR
- Personalaufwendungen	22,0
- Sachaufwendungen	16,4
Aufwendungen Betriebshaushalt	38,4
Investitionen	6,1



ERTRÄGE 2018	Mio EUR
- Erträge aus der Industrie	18,5
- Zusatzfinanzierung durch Bund, Länder und EU	13,1
- Grundfinanzierung durch die Fraunhofer-Gesellschaft	6,8
Erträge Betriebshaushalt	38,4
Investitionerträge aus der Industrie	0,5
Fraunhofer Industrie ρ_{Ind}	49,3 %



AUSSTATTUNG

Die Nettogrundfläche des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT beträgt über 19.500 m².

TECHNISCHE INFRASTRUKTUR

Zur technischen Infrastruktur des Instituts gehören eine mechanische und eine elektronische Werkstatt, ein Metallographie- und ein Fotolabor, ein Labor für optische Messtechnik sowie eine Konstruktionsabteilung.

WISSENSCHAFTLICHE INFRASTRUKTUR

Zur wissenschaftlichen Infrastruktur zählen u. a. Literatur- und Patentdatenbanken, Programme zur Berechnungswissenschaftlicher Fragestellungen und Datenbanken zur Prozessdokumentation sowie eine umfangreiche Fachbibliothek.

GERÄTEAUSSTATTUNG

Die Geräteausstattung des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT wird ständig auf dem neuesten Stand der Technik gehalten. Sie umfasst derzeit als wesentliche Komponenten:

STRAHLQUELLEN

- CO₂-Laser bis 12 kW
- Scheibenlaser bis 12 kW
- Scheibenlaser mit grüner Wellenlänge
- Multimode-Faserlaser bis 6 kW
- Singlemode-Faserlaser bis 5 kW
- Diodenlaser bis 12 kW
- Kurz- und Ultrakurzpuls laser bis 1 kW mit Pulsdauern im Nano-, Piko- und Femtosekundenbereich
- Frequenzvervielfachte Laser im sichtbaren Spektralbereich
- Excimerlaser
- Breitbandig abstimmbare Laser
- MIR-Laser (ps, ns) mit mittlerer Leistung > 10 W

ANLAGEN UND BEARBEITUNGSSYSTEME

- Dreiachsige Bearbeitungsstationen
- Fünfachsig Portalanlagen inkl. Dreh-/Kipptisch
- Robotersysteme inkl. 6-Achs-Knickarmroboter mit Drehkipptisch
- Kommerzielle Anlagentechnik und Laborsysteme für das Laser Powder Bed Fusion (LPBF)
- Direct-writing und Laser-PVD-Stationen
- Strahlführungssysteme
- Diverse Pulver- und Drahtförderer für die Additive Fertigung
- Drucker für Sol-Gele-Hybrid-Polymere und nano- bis mikroskalige Dispersionen

SPEZIALLABORE

- Reinräume zur Montage von Dioden- und Festkörperlaser sowie Laseroptiken
- Life Science Labor mit S1-Klassifizierung
- Batterietechnik-Labor

MESSTECHNIK UND SENSORIK

- Geräte zur Verfahrens- und Prozessdiagnostik sowie zur Hochgeschwindigkeits-Prozessanalyse
- Laser-Spektroskopie-Systeme zur chemischen Analyse fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe
- Konfokales Laser-Scanning-Mikroskop
- Raster-Elektronen-Mikroskop
- Shack Hartmann-Sensor zur Charakterisierung von Laserstrahlen und Optiken
- Messinterferometer und Autokollimator zur Analyse von Laseroptiken
- Messequipment zur Charakterisierung von Ultrakurzpuls Lasern
- Vibrationsprüfstand
- Single-Photon-Detektor (APD) für NIR-Laser
- Systeme zur Charakterisierung von Pulverwerkstoffen

AUSZEICHNUNGEN UND PREISE

STAHL-INNOVATIONSPREIS 2018

Stahl-Innovationspreis an EHLA-Forscherteam

Mit dem Stahl-Innovationspreis zeichnet die deutsche Stahlindustrie alle drei Jahre Innovationen aus, dank derer dieser Werkstoff noch lange nicht zum alten Eisen zählt. Im Mittelpunkt stehen nicht nur Produkte aus Stahl, sondern auch innovative Verfahren wie das Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen EHLA, das bereits mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2017 ausgezeichnet wurde. Für die umweltfreundliche Laser-Alternative zur Chrom(VI)-Beschichtung erhielten Thomas Schopphoven und Dr. Andres Gasser vom Fraunhofer ILT sowie Gerhard Maria Backes vom Lehrstuhl DAP der RWTH Aachen University am 13. Juni 2018 den 2. Preis des Stahl-Innovationspreises in der Kategorie »Stahl in Forschung und Entwicklung«.

Best Tutorial Award auf der ASME Turbo Expo

Robin Day vom Lehrstuhl DAP der RWTH Aachen University, Dr. Sascha Gierlings vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT, Dr. Benjamin Döbbeler vom WZL der RWTH Aachen University sowie Dr. David Welling der Makino Milling Machine Co., Ltd. haben am 13. Juni 2018 auf der ASME Turbo Expo in Oslo den Best Tutorial Award in der Session »Manufacturing Materials & Metallurgy« gewonnen. Sie präsentierten zukunftsweisende Forschungsergebnisse aus den Bereichen Fräsen, neue Fertigungsmöglichkeiten mittels Erodieren sowie additive und vernetzte Fertigung in der Industrie 4.0.

JEC-Innovationspreis für Fraunhofer ILT

Der Einsatz von Verbundwerkstoffen für »ground transportation« stand im Mittelpunkt des neuen JEC-Events »The Future of Composites in Transportation« in Chicago am 27. und 28. Juni 2018: Ein Highlight war die Verleihung des »Future of Composites in Transportation by JEC Innovation Award«, der in der Kategorie »Passenger Car« an das Fraunhofer ILT sowie weitere Partner des Projekts »HyBriLight« ging. Dr. Alexander Olowinsky nahm den Preis stellvertretend in Chicago entgegen. Ausgezeichnet wurde die Entwicklung und Herstellung eines Hybrid-Dachspriegels, der auf dem Originalteil eines Fahrzeugs der BMW 7er-Serie basiert. An dieser Entwicklung waren zudem die Weber Fibertech GmbH, die Werkzeugbau Siegfried Hofmann GmbH, das Fraunhofer LBF, die SCANLAB GmbH und die BMW Group beteiligt.

Best Presentation Award auf der LANE 2018

Auf der LANE 2018 hat Dennis Arntz vom Lehrstuhl LLT der RWTH Aachen University den zweiten Platz beim Best Presentation Award für seinen Vortrag zum Thema »Quantitative study of melt flow dynamics inside laser cutting kerfs by in-situ high-speed video-diagnostics« belegt.

Springorum-Denkmünze und Borchers-Plakette

Die Verleihung der Springorum-Denkmünzen und Borchers-Plaketten fand am 8. September 2018 im Rahmen des RWTH-Graduiertenfests statt. Mit der Borchers-Plakette wurden Florian Eibl und Johannes Weitenberg (Fraunhofer ILT) geehrt und die Springorum-Denkmünze erhielt Georg Rödler, (Fraunhofer ILT).



Thomas Schopphoven (li.) und Gerhard Backes (re.) bei der Verleihung des Stahl-Innovationspreises.

BERTHOLD LEIBINGER INNOVATIONSPREIS 2018

Berthold Leibinger Innovationspreis 2018 an EHLA-Forscherteam

Für die Entwicklung des »Extremen Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißens« EHLA erhielten Thomas Schopphoven und Dr. Andres Gasser vom Fraunhofer ILT sowie Gerhard Maria Backes vom Lehrstuhl DAP der RWTH Aachen University am 21. September 2018 den mit 50 000 Euro dotierten ersten Preis der Berthold Leibinger Stiftung in Ditzingen. Der Berthold Leibinger Innovationspreis wird seit 2000 alle zwei Jahre für herausragende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Anwendung oder Erzeugung von Laserlicht verliehen und gehört zu den weltweit hochkarätigsten Auszeichnungen in der Laserbranche.

Award auf Expo Singapore – Industrial Transformation – Future of Manufacturing Summit

Dr. Bernd Jungbluth (Fraunhofer ILT), Dr. Claus Schnitzler (AMPHOS GmbH), Peng Penn Loo (Wavelengths Opto-Electronics) und Houkun Liang (A*STAR SIMTech) wurden am 17. Oktober 2018 auf dem Expo Singapore – Industrial Transformation – Future of Manufacturing Summit für ihr Projekt »Digitized high-power deep-UV, sub-ps laser for additive manufacturing« durch die 1st Singapore-Germany Academic Industry (2+2) International Collaboration Grand Call in Advanced Manufacturing ausgezeichnet.



Die Finalisten des Berthold Leibinger Innovationspreises bei der Jurysitzung am 13. Juli 2018.

Student Paper Award auf der ICALEO 2018

Während der Abschlussession der ICALEO 2018 am 17. Oktober 2018 in Orlando haben Dennis Arntz und Dennis Haasler vom Lehrstuhl LLT der RWTH Aachen University den Student Paper Award von Prof. Christoph Leyens (Chairman ICALEO) verliehen bekommen. Dennis Arntz hat den ersten Platz gewonnen für sein Paper »In-Situ High Speed Diagnosis – A Quantitative Analysis of Melt Flow Dynamics Inside Cutting Kerfs During Laser Fusion Cutting with 1 µm Wavelength« und Dennis Haasler den zweiten Platz für sein Paper »Investigation of Heat Accumulation Effects during Percussion Drilling by High Power Ultrashort Laser Radiation«.

Posterpreis der »DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.«

Thilo Barthels vom Fraunhofer ILT wurde auf der Veranstaltung »Spurenstoffe und Krankheitserreger im Wasserkreislauf – SUK 2018« der »DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.« mit dem Posterpreis für seine Darstellung »Innovatives Herstellverfahren von Oberflächenfiltereinsätzen, um Wasser mechanisch bakterienfrei zu filtern« geehrt.

FRAUNHOFER-MÜNZE

Fraunhofer-Münze für Prof. Poprawe

Im Rahmen der Institutsleiterklausur in Braunschweig wurde Professor Reinhart Poprawe am 25. Oktober 2018 mit der Fraunhofer-Münze für herausragende Verdienste in der Fraunhofer-Gesellschaft geehrt. Nach dem Tod Joseph von Fraunhofers und Georg Reichenbachs prägte König Ludwig der Erste von Bayern zu deren Gedenken eine Münze, die die Fraunhofer-Gesellschaft als Ehrenausszeichnung in limitierter Ausgabe 1986 nachprägen ließ.

NACHWUCHSFÖRDERUNG



Lichtszenierung »Der Dom leuchtet« auf dem Aachener Katschhof.



Teilnehmerinnen des Girls' Day am Fraunhofer ILT.

Girls' Day – Mädchenzukunftstag am 26.4.2018

Am 26. April 2018 öffneten die drei Aachener Fraunhofer-Institute ILT, IPT und IME interessierten Mädchen (Klasse 5–7) ihre Türen und boten Einblicke in die tägliche Arbeit. Neben der kurzen Vorstellung der Institute und den Führungen durch die Labore und Hallen konnten die Schülerinnen auch selbst Experimente zu folgenden Themen durchführen:

- Impfstoff aus Tabak: Wie Pflanzen Medikamente produzieren
- Experiment: Filtern von DNA aus einer Tabakpflanze
- Operation »Fliegendes Ei« – Konstruktion eines Fluggeräts
- Experiment: Bauen eines eigenen Hologramms und einer Laserlichtschranke

Erster Hackathon vom 22.–25.5.2018

Während des Hackathon »Laser-Musikinstrumente«, veranstaltet durch den Lehrstuhl TOS der RWTH Aachen University, entwickelten 15 Studierende aus den verschiedensten Disziplinen in drei bunt gemischten Teams ihr eigenes Laser-Musikinstrument. Von der Laser-Gitarre über den Laser-Synthesizer bis hin zum Laser-Xylophon programmierten, löteten und schraubten die 15 Teilnehmer eigenständig an ihren Instrumenten und erlangten dabei viele neue Kenntnisse – diese Art des Lernens lobten sie am Ende der Veranstaltung besonders.

Erste Nacht des 3D-Drucks am 12.7.2018

Am 12. Juli 2018 fand die erste Nacht des 3D-Drucks im Cluster Photonik auf dem RWTH Aachen Campus statt. Der Forschungscampus DPP, der Lehrstuhl DAP der RWTH Aachen University und das Fraunhofer ILT gaben über 80 Aachenerinnen und Aachenern die Möglichkeit, einen Blick hinter die Kulissen des 3D-Drucks zu werfen. Als fachliches Add-On in lockerer Atmosphäre veranschaulichten Expert-Talks der Ford Motor Company sowie McKinsey & Company die Zukunft des 3D-Drucks in der industriellen Produktion. Im anschließenden

Networking sorgten Live DJ und gute Stimmung für einen regen Austausch zwischen Interessierten, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern.

Schüleruni Maschinenbau vom 6.–10.8.2018

2018 fand erneut die Schüleruni Maschinenbau mit Beteiligung des »Exzellenzcluster Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« an der RWTH Aachen University statt. 24 Schülerinnen und Schüler aus ganz Deutschland, aber auch aus Belgien und der Türkei, verbrachten eine Woche lang in Aachen, um einen ersten Eindruck von dem Studiengang Maschinenbau und seinen vielfältigen Möglichkeiten zu erhalten. Durch den Besuch verschiedener Institute sowie der Demonstrationsfabrik des Cluster Smart Logistik erhielten die Schülerinnen und Schüler Einblicke in die Bereiche Produktionstechnik, Verfahrenstechnik, Kunststofftechnik, Textiltechnik sowie Optik und Lasertechnik. Neben Vorträgen und Vorlesungen konnten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer auch selbst experimentieren und zum Beispiel kleine Roboter programmieren. Am 10. August 2018 entdeckten sie dann die Welt der Photonik und untersuchten Strukturen auf der 10 µm-Skala oder gingen optischen Phänomenen im Alltag, wie der »Katakustik in der Kaffeetasse«, auf den Grund.



Experimente mit Makrolinsen für das Smartphone bei der Schüleruni Maschinenbau 2018.

Summer School »Production Technology meets Industrie 4.0«

Im Rahmen des Exzellenzclusters »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« hat vom 6. bis 24. August 2018 eine internationale Summer School zum Thema »Production Technology meets Industrie 4.0« stattgefunden. Einen Tag befassten sich die 35 internationalen Studenten am Lehrstuhl DAP der RWTH Aachen University mit dem Thema »Digital Additive Production« und erhielten einen Einblick in verschiedene additive Fertigungsverfahren sowie die digitale Entwicklung und das Design von AM-Bauteilen.

Fraunhofer-Studierenden-Event »Der Dom leuchtet« am 28.9.2018

Gemäß dem Motto »Wissenschaft und Kunst an einem Abend geht nicht. DOCH.« feierten 4000 Studierende und Mitarbeiter der Fraunhofer-Institute am Standort Aachen mit einem abwechslungsreichen Bühnenprogramm und einer spektakulären 3D-Lichtinstallation vierzig Jahre UNESCO-Weltkulturerbe »Der Dom leuchtet« auf dem Aachener Katschhof.

»5 vor 12« – Die RWTH Wissenschaftsnacht 2018

Die RWTH-Wissenschaftsnacht »5 vor 12« präsentiert Wissenschaft in ungewöhnlicher Form zu ungewöhnlicher Zeit. Die Wissenschaft wird für alle Generationen auf unterhaltsame Art mit einem breiten Angebot an spannenden Vorträgen, Filmvorführungen und kabarettistischen sowie musikalischen Beiträgen verständlich und greifbar gemacht. Der Lehrstuhl TOS der RWTH Aachen University präsentierte am 9. November 2018 unter dem Motto »Licht zum Anfassen – Musizieren mit Licht« die im Rahmen einer Projektarbeit entstandene Laserharfe.

Absolventenkongress Deutschland in Köln

Am 22. und 23. November 2018 präsentierte sich das Fraunhofer ILT erstmalig auf dem Absolventenkongress, Deutschlands größter Jobmesse für Studierende, Absolventen und Professionals. Neben 250 weiteren Ausstellern informierte das Fraunhofer ILT in persönlichen Gesprächen insbesondere Studierende und Absolventen aus den Ingenieur-, Wirtschafts- und Naturwissenschaften über Einstiegs- und Karrieremöglichkeiten. Darüber hinaus erhielten Interessenten die Gelegenheit, sich im »Escape Game Kubus« interaktiv mit Fraunhofer-Leitthemen vertraut zu machen.

31. bonding Firmenkontakttmesse am 5.12.2018

Zum dritten Mal in Folge präsentierte sich das Fraunhofer ILT in Aachen auf der größten studentisch organisierten Firmenkontakttmesse – der bonding. Neben 402 weiteren Ausstellern informierte das Fraunhofer ILT in persönlichen Gesprächen insbesondere Studierende und Absolventen aus den Ingenieur-, Wirtschafts- und Naturwissenschaften über Einstiegs- und Karrieremöglichkeiten.

3. Frauen-Zukunftstag der RWTH Aachen am 11.12.2018

Erstmals präsentierte sich das Fraunhofer ILT auf dem Frauen-Zukunftstag der RWTH Aachen University. Während dieser speziell für Absolventinnen der RWTH Aachen organisierten Veranstaltung informierte das Fraunhofer ILT im Rahmen eines Company Pitches, einer Podiumsdiskussion sowie in persönlichen Gesprächen über Einstiegs- und Karrieremöglichkeiten für Wissenschaftlerinnen.

ALUMNI-NETZWERK

LEBENDIGES ALUMNI-NETZWERK AM FRAUNHOFER ILT

Das Fraunhofer ILT und die assoziierten Lehrstühle und -gebiete der RWTH Aachen University tragen wesentlich zu einer qualifizierten Aus- und Fortbildung des wissenschaftlich-technologischen Nachwuchses im Bereich der Lasertechnik bei. Allein in 2018 haben 123 Studenten ihre Bachelor- oder Masterarbeit am Fraunhofer ILT durchgeführt und 16 Mitarbeiter ihre Promotion abgeschlossen. Durch ihre Praxiserfahrungen und tiefgehenden Einblicke in innovative Entwicklungen warten diese Mitarbeiter mit besten Voraussetzungen auf, um eine Tätigkeit in Wissenschaft und Industrie aufzunehmen. Sie sind daher gefragtes Nachwuchspersonal.

Seit 2000 betreibt das Fraunhofer ILT das Alumni-Netzwerk »Aix-Laser-People« mit mittlerweile über 450 Ehemaligen, um den Kontakt der Ehemaligen sowohl zu ILT-Mitarbeitern als auch untereinander zu fördern. Über 80 Prozent der Alumni arbeiten in der produzierenden Industrie, viele davon in laser-relevanten Branchen. 20 Prozent der Alumni wirken weiterhin in der Wissenschaft und rund 10 Prozent sind Unternehmensgründer. Durch den Transfer von »innovativen Köpfen« in die Industrie und Wissenschaft leistet das Institut einen direkten gesellschaftlichen Nutzen. Neben dem Alumni-Netzwerk »Aix-Laser-People« bündelt der Verein »Arbeitskreis Lasertechnik AKL e.V.« die thematischen Interessen derjenigen, die weiterhin im Bereich der Lasertechnik tätig sind. Rund 150 Alumni, also gut ein Drittel, sind Mitglieder des AKL e.V..

Ansprechpartner im Fraunhofer ILT

Dipl.-Phys. Axel Bauer (Alumni-Manager)
Telefon +49 241 8906-194
axel.bauer@ilt.fraunhofer.de

Alumni-Summit am 27./28.9.2018 in Aachen

Der Fraunhofer-Alumni-Summit fand 2018 vom 27. bis 28. September in Aachen statt und wurde vom Fraunhofer-Alumni e.V. und der Fraunhofer-Gesellschaft in enger Kooperation mit dem Fraunhofer ILT in Aachen organisiert. Rund 150 Teilnehmer nahmen an dem umfangreichen Tagungsprogramm und an den Besichtigungen der drei Aachener Fraunhofer-Institute ILT, IPT und IME teil.

»Smarte Produktion von morgen: Chancen und Perspektiven der Additiven Fertigung« – spannende Vorträge und Spitzengespräche mit führenden Köpfen aus Wissenschaft, Politik und Industrie standen auf dem Programm des Fraunhofer-Alumni-Summits 2018. Ein weiteres Highlight war der Science-Slam, in dem Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler auf originelle Art und Weise Forschungsprojekte aus dem Bereich der Additiven Fertigung vorstellten.

Mit dem Fraunhofer-Alumni-Summit möchte die Fraunhofer-Gesellschaft sowohl die Verbindung der ehemaligen Mitarbeitenden zu Fraunhofer als auch der Alumni untereinander fördern. Die Veranstaltung bietet ein hervorragendes Forum für einen hochkarätigen Wissens- und Informationsaustausch und unterstützt die Bildung von wichtigen Netzwerken und Kooperationen«, sagte Prof. Reimund Neugebauer, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft.



Die Gewinner des Science-Slam mit Fraunhofer-Personalvorstand Prof. Alexander Kurz (1.v.li.).

Zu Gast war auch Armin Laschet, Ministerpräsident von Nordrhein-Westfalen. Er lobte die Idee des Alumni-Netzwerks sowie die Impulse, die Fraunhofer durch enge Kooperationen mit mittelständischen Unternehmen für die Wirtschaft nicht nur in seinem Bundesland setzt.

Thematische Schwerpunkte waren dieses Mal die Chancen und Perspektiven der Additiven Fertigung, die als eine der wichtigsten Schlüsseltechnologien zur Umsetzung der Hightech-Strategie der Bundesregierung gilt.

Additive Manufacturing at its best

Über erste Ergebnisse der strategischen Fraunhofer-Forschungsk Kooperation »futureAM« konnten sich die Teilnehmer des Summits in Fachvorträgen der vier Fraunhofer-Institutsleiter Prof. Emmelmann, Prof. Leyens, Prof. Schleifenbaum und Prof. Bergs und auf einer tagungsbegleitenden Ausstellung informieren. Experten für Additive Fertigung von BMW, Siemens, Airbus und Trumpf diskutierten in einem Podiumsgespräch angeregt Chancen und Perspektiven der zukunftsweisenden Technologie, die unter anderem im Rahmen des Forschungscampus Digital Photonic Production DPP in Aachen weiterentwickelt wird. Das Projekt ermöglicht eine langfristige und systemische Kooperation zwischen Fraunhofer-Gesellschaft, der RWTH Aachen University und der Industrie, die unter einem Dach im Industry Building DPP gemeinsam forschen. Dieses innovative Kooperationsmodell wurde von Prof. Poprawe in einem eigenen Vortrag vorgestellt.



Die Erbauer der Laserharfe beim Alumni-Summit in Aachen.

Science-Slam für kreative Ideen

Für Begeisterung sorgten beim Science-Slam am Nachmittag die Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler. Sie brachten den Alumni ihre Forschungsprojekte zum Thema »Additive Fertigung« unterhaltsam nahe. Gewinner des Science-Slam wurde Simon Vervoort vom Fraunhofer ILT. Die Titel der Vorträge waren:

- »Sensorintegration – 3D-Druck mit Laser und Gefühl«, Dipl.-Ing. Simon Vervoort (Fraunhofer ILT)
- »Neue Knochen aus dem Drucker«, Christoph Gayer M.Sc. (Fraunhofer ILT)
- »3D-gedruckte Ersatzorgane – morgen schon Realität?« Jelena Ochs M.Sc. (Fraunhofer IPT)
- »Additive Manufacturing + Machine Learning = Buzzword-Bingo²«, Jonathan Krauss M.Sc. (Fraunhofer IPT)

Nach einem abendlichen Empfang des Oberbürgermeisters der Stadt Aachen Marcel Philipp im Rathaus konnten die rund 150 Teilnehmer des Fraunhofer-Alumni-Summits, darunter zahlreiche Ehemalige des Fraunhofer ILT und der assoziierten Lehrstühle der RWTH Aachen University, der Lichtinszenierung »Der Dom leuchtet« beiwohnen. Diese Kunstaktion erfolgte im Rahmen der Feierlichkeiten des Aachener Domkapitels anlässlich des Jubiläums »40 Jahre Weltkulturerbe Aachener Dom«.

Quelle und weiterführende Informationen

im Internet unter: www.fraunhofer.de/de/schnelleinstieg/alumni.html

MOBILITÄT

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT



SMARTE PRODUKTION UND INSTANDSETZUNG IM TURBINENBAU

Bis zum Jahr 2036 wird eine Verdopplung der Flugpassagiere auf 8 Mrd pro Jahr vorhergesagt. Das hat auch direkte Konsequenzen für die Wartung und Instandsetzung von Flugzeugturbinen. Das Fraunhofer ILT entwickelt laserbasierte Fertigungs- und Systemlösungen für die effiziente Reparatur von hochwertigen Triebwerkskomponenten und trägt damit aktiv zum Wachstum der Flugzeugbranche und zum Ausbau der Mobilität bei.

Herausforderungen in der Instandsetzung

Flugzeugturbinen unterliegen hohen mechanischen und thermischen Belastungen. Zum Einsatz kommen dabei Komponenten aus Eisen-, Nickel- und Titanwerkstoffen. Die Instandsetzung der Bauteile erfordert häufig die Wiederherstellung von verschlissenen Bereichen. Hierzu sind angepasste Prozessketten erforderlich, in denen die Bauteile vorbereitet, digitalisiert, zerspannt, auftragsgeschweißt, wärmebehandelt und anschließend final bearbeitet werden. Zum Auftragen von Material kommen neben den konventionellen Schweißverfahren auch thermische Spritzverfahren zum Einsatz. Diese Verfahren bringen häufig Nachteile mit sich, wie zu hoher Energieeintrag und Verzug in das Bauteil oder mangelnde Schichthaftung.

Laserauftragschweißen im Turbinenbau

Durch seine hervorragende zeitliche und örtliche Steuerbarkeit des Energieeintrags eignet sich der Laser besonders für das Auftragen von Material auf hochempfindlichen Komponenten aus dem Turbomaschinenbau. Die Zusatzwerkstoffe werden draht- oder pulverförmig zugeführt, mit dem Laserstrahl aufgeschmolzen und schmelzmetallurgisch mit dem Grundwerkstoff verbunden.

Das Fraunhofer ILT stellt hierfür an die Geometrie und den Werkstoff angepasste Prozessführungen und Systemtechnik bereit. Dazu zählen u. a. Prozessführungen für schwer schweißbare Nickel-Basis-Legierungen mit hohem Gamma-Strich-Anteil, das Beeinflussen des Mikrogefüges durch Pendeltechniken, das Reparieren von Komponenten aus einkristallinen Werkstoffen und das Auftragschweißen von oxidationsempfindlichen Titanbasis-Legierungen.

In der Systemtechnik bietet das Fraunhofer ILT angepasste Lösungen für modulare Pulver- und Schutzgaszufuhrdüsen und weitere Komponenten für eine hocheffiziente Pulverzufuhr sowie koaxiale Drahtzufuhrköpfe, die ein richtungsunabhängiges Auftragschweißen ermöglichen.

Prozessketten und Industrie 4.0

Das Fraunhofer ILT bietet Lösungen für einzelne Schritte in der Prozesskette. Dazu zählen die Digitalisierung mittels Linienscanner und GOM, Software für die Offline-Programmierung für das Laserauftragschweißen, die oben erwähnten Prozessführungen an komplexen 3D-Geometrien und die adaptive Nachbearbeitung durch Fräsen. In der Entwicklung befinden sich Lösungen im Umfeld der Industrie 4.0 wie beispielsweise Sensorintegration in Maschinen, Datenakquisition und Auswertung sowie die Entwicklung von »digitalen Zwillingen« für die Reparatur von Turbinenschaufeln.

Smarte Bauteile mit integrierter Sensorik

Die Erfassung der tatsächlichen Betriebszustände einer Turbine ist ein kritischer Erfolgsfaktor für die optimale Konfiguration aller Betriebsparameter bei unterschiedlichen Lastzuständen und die maximale Ausnutzung der Lebensdauer hoch belasteter Komponenten. Entscheidend für bestmögliche Wartungs- und Reparaturinterventionen sind dabei die tatsächlichen Zustände im Hinblick auf Ermüdung und Verschleiß, die aufgrund unterschiedlicher Umweltbedingungen signifikant von den theoretisch möglichen Standzeiten abweichen können.

Zur beschleunigten Entwicklung von Turbinenkomponenten sowie zur Gewinnung von Daten für »digitale Zwillinge« für die umfassende Simulation ist daher die werkstellennahe Erfassung einer Vielzahl an Messdaten essentiell. Für die Online-Datenerfassung von Dehnungen oder Temperaturen können sowohl eingebettete als auch applizierte Sensorelemente eingesetzt werden.

Im Bereich der eingebetteten Sensorik werden verkapselte Sensoren in Kavitäten innerhalb eines Bauteils eingebracht und form- und stoffschlüssig mit ihm verbunden. Während der Additiven Fertigung mittels Laserstrahlschmelzen wird die Sensorik direkt in die Turbinenkomponente werkstellennahe integriert. Bei der applizierten Sensorik werden die notwendigen Sensorstrukturen auf der Oberfläche der Turbinenkomponente in keramischer Dickschichttechnik kleber- und lotfrei appliziert. Das Multilayersystem aus Isolations-, Leiter- und Widerstandsschichten, basierend auf Glaskeramikmaterialien mit Einzelschichtdicken zwischen 10 und 30 µm, wird schrittweise mittels 3D-geeigneter Druckverfahren aufgebaut und mittels Laserstrahlung gesintert. Es können derzeit robuste Dehnungs- und Temperatursensorstrukturen für Anwendungstemperaturbereiche bis 500 °C hergestellt werden.

Smarte Produktion mit Laser Powder Bed Fusion

Bei der Herstellung von Turbinenkomponenten ermöglicht das Verfahren Laser Powder Bed Fusion (LPBF) theoretisch eine unbegrenzte Geometriefreiheit. Allerdings führen verschiedene Bauteilgeometrien zu unterschiedlichen Wärmeableitungsbedingungen, woraus sich Herausforderungen hinsichtlich einer konstanten Bauteilqualität ergeben. Aus diesem Grund wird eine LPBF-Prozessführungsstrategie benötigt, die an die lokalen Charakteristika der zu fertigenden Bauteile angepasst wird.

Zusammen mit Datenexperten des Fraunhofer IGD entwickeln Wissenschaftler des Fraunhofer ILT im Rahmen des Leitprojekts »futureAM« sowohl Softwarelösungen als auch Prozessführungsstrategien, die eine zeitliche und örtliche Steuerbarkeit des Energieeintrags im LPBF-Prozess ermöglichen. Dazu wird das zu fertigende Bauteil in sogenannte Voxel unterteilt und jedem einzelnen Voxel dann eine Kombination von geeigneten Verfahrensparametern zugewiesen. Dadurch können unterschiedliche Geometrieklassen in konstanter Qualität und reproduzierbar gefertigt werden. Ein weiterer Baustein für hochqualitative Komponenten im Turbinenbau.

Das Fraunhofer ILT treibt die Additiven Fertigungstechnologien im Fraunhofer-Verbund weiter voran und leistet damit einen Beitrag zur smarten Produktion von Morgen.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Thema Mobilität: Seite 45, 50, 64–66, 70, 78–80 und 83–87.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

PRODUKTION

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT

FUNKTIONSOPTIMIERTE OBERFLÄCHEN MITTELS LASERTECHNIK

Funktionale Oberflächen sind der Schlüssel zu innovativen Produkten, die unterschiedliche Eigenschaften auf einem Minimum an Platz vereinen. Neben rein technischen Funktionen werden dabei Eigenschaften angestrebt, die aus der Natur entlehnt sind. Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Lasertechnik eröffnen neue Perspektiven bei der an den speziellen Anwendungsfall angepassten Oberflächenmodifikation, welche mit herkömmlichen Herstellverfahren oft nicht darstellbar ist.

Tribologische Funktionalisierung

Zur Reduzierung von Verschleiß bei sich gegeneinander bewegend Bauteilen, wie zum Beispiel Gleitlager, Dichtflächen oder Wälzlager, können spezifische Oberflächenstrukturen eingesetzt werden, um das hydrodynamische Verhalten von Schmierfilmen positiv zu beeinflussen. Sie stellen eine Möglichkeit zur Reduktion von Reibungskräften und Verschleißraten dar. Mittels Laserabtrag lassen sich hydrodynamisch optimierte Strukturen mit Geometrien von einigen 100 nm bis in den Mikrometerbereich auf beliebigen Oberflächen erzeugen. Dadurch können Traganteile und hydrodynamische Anteile von Lagerpaarungen applikationsspezifisch aufeinander angepasst werden, sodass längere Betriebszeiten und geringerer Wartungsaufwand möglich sind. Hochleistungs-Ultrakurzpuls laser ermöglichen dabei hohe Abtragsraten, sodass auch große Bauteile wirtschaftlich bearbeitet werden können.

Als Alternative zur Oberflächenstrukturierung lassen sich mit Laserverfahren hochharte Schichten durch gezieltes Auftragen von Hartstoffschichten oder durch Modifikation nasschemisch aufgebracht nanoskaliger Schichten erzeugen. Keramische Verschleißschutzschichten besitzen hier ein enormes Potenzial und werden u. a. in der Automobilindustrie eingesetzt, um die tribomechanischen Eigenschaften hoch beanspruchter Motoren- und Getriebekomponenten zu optimieren. Nanopartikelwerkstoffe, z. B. in Form von Sol-Gel-Systemen, können mit geringem technologischem Aufwand durch energie- und ressourcenschonende Verfahren als Schutzschichten auf Bauteile aufgebracht werden. Anschließend werden die Schichten mittels selektiver Laserbehandlung bei Schichtdicken von 0,1–1 µm nachbehandelt und Mikrohärtewerte von mehr als 1000 HV erreicht. Die zentrale Herausforderung des Beschichtungsprozesses besteht in einer vollständigen Sinterung des keramischen Werkstoffs bei Temperaturen oberhalb von 1000 °C ohne funktionsrelevante Beeinflussung der zum Teil temperaturempfindlichen Trägermaterialien.

Photonische Funktionalisierung

Vielfältige Anwendungsbereiche ergeben sich für optisch funktionalisierte Flächen. Durch die Erzeugung von flächigen periodischen und aperiodischen Strukturen mit Geometrien im Bereich 100 nm bis einige Mikrometer können, in Abhängigkeit der Größe der hergestellten Strukturen, verschiedene optische Effekte erreicht werden. Mit Strukturen, deren Ausprägung größer als die Wellenlänge des einfallenden Lichts ist, kann die Lichteinkopplung in den Werkstoff durch Mehrfachreflexionen und Interferenzeffekte erhöht werden. Des Weiteren kann das Licht durch kleinere Strukturen – im Größenbereich der Lichtwellenlänge – gestreut werden, was wiederum die Länge des optischen Laufwegs erhöht und zu einer Steigerung der Absorption im Medium führt. Mit sehr kleinen Strukturperioden ist es sogar möglich, den



sogenannten Mottenaugeneffekt nachzubilden, durch den Oberflächenreflexionen fast vollständig unterbunden werden. Anwendungsbeispiele sind reflexionsmindernde Effekte für Photovoltaikanlagen. Neben derart großflächigen Bearbeitungsverfahren werden mittels Laserabtrag Abformwerkzeuge zur Herstellung von Mikrolinsen und Streustrukturen für die Lichtauskopplung in LED-Beleuchtungen erzeugt.

Fluidische Funktionalisierung

Die Erzeugung hydrophiler oder hydrophober Oberflächen über Laserverfahren kann sowohl direkt auf dem Bauteil oder bei replikativer Herstellung des Bauteils über Spritzguss und Gießverfahren auch über die Laserstrukturierung der Werkzeugoberfläche erfolgen. Dabei eignen sich vor allem Ultrakurzpuls laser zur Strukturierung sowohl polymerer als auch metallischer Oberflächen, indem durch selektiven Laserabtrag eine definierte Oberfläche mit deterministischen Strukturen im Mikro- und Nanobereich erzeugt wird.

Elektrische Funktionalisierung

Die elektrische und magnetische Funktionalisierung bietet großes Potenzial im Bereich der Energie- und der Halbleitertechnik. Mit funktionalisierten Elektrodenoberflächen können, z. B. in der Energiespeichertechnik, die Leistungs- und Energiedichte sowie die Zyklenfestigkeit von Lithium-Ionen-Batterien verbessert werden. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Halbleitertechnik, wo durch die Laserkristallisation dünner Schichten transparente leitfähige Oxide entstehen. Die Modifikation der Leitfähigkeit kann auch durch das Laserumschmelzen von Halbleitern oder durch selektives Sintern von Nanopartikeln bei niedrigen Prozesstemperaturen erfolgen. Die Prozesse zur Einstellung magnetischer Eigenschaften bieten großes Potenzial im Bereich der Transformatoren- und der Elektromotorentchnik.

Biologische Funktionalisierung

Durch Ultrakurzpuls laserstrahlung lassen sich topographische Strukturen und chemisch aktive Ankerstrukturen im Bereich < 100 nm für biologisch-funktionale Oberflächen erzeugen. Diese geometrischen und chemischen Funktionen beeinflussen Adhäsion, Proliferation, zelluläre Ausrichtung, Podienbildung, Migration, Differenzierung und Genexpression von hämatopoetischen und mesenchymalen Stammzellen (MSC). Mit diesen Technologien und Kenntnissen kann eine in-vitro-Expansion adulter Stammzellen mit verbesserten Ergebnissen erzielt sowie Implantatstrukturierungen im Bereich des Tissue Engineerings und der Regenerativen Medizin ermöglicht werden.

Chemische Funktionalisierung

Katalytische Reaktionen in der Chemie sind für neue Materialien und neue Fertigungsprozesse zunehmend wichtig. Mittels Laserstrukturierung und Lasermodifikation lassen sich chemisch aktive Oberflächen durch Ankopplung reaktiver Moleküle und Atome erzeugen, die sensorische und aktorische, im chemischen Sinne synthetische Funktionalitäten aufweisen. Auf diese Weise sind z. B. photokatalytisch aktive Oberflächen möglich, die bei hohen Photonenenergien eine direkte Synthese funktionaler Moleküle erlauben.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

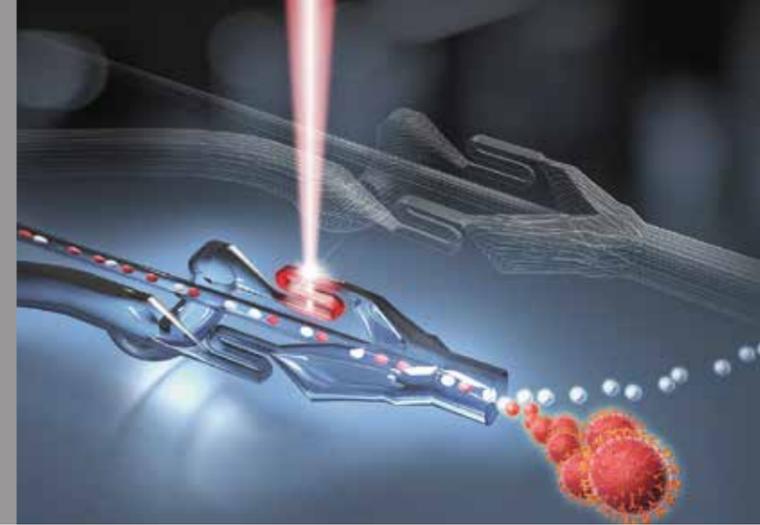
Thema Produktion: Seite 35, 41, 48, 51, 52, 54, 55, 57–61, 64–69, 71–73, 76, 77, 81, 82, 88 und 89.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

GESUNDHEIT

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT



LASERGESTÜTZTE ANALYSEN FÜR DIE PERSONALISIERTE MEDIZIN

Laser eröffnen dem Kliniker eine Vielzahl diagnostischer und therapeutischer Anwendungsoptionen. Mit der Entwicklung einer immer stärker personalisierten Medizin ergeben sich neue Anforderungen an die Verfahren der klinischen Diagnostik. Die hohe Sensitivität und Selektivität fluoreszenzbasierter Lasermessverfahren zeichnen den Laser als Werkzeug zur Bearbeitung diagnostischer Fragestellungen aus. Das Fraunhofer ILT entwickelt zusammen mit führenden Experten aus der Medizin lasergestützte Verfahren für die Labordiagnostik, die patientenindividuelle Therapieoptionen ermöglichen sollen. Ein Schwerpunktthema ist dabei die Entwicklung von mikrofluidischen Lab-on-a-chip-Systemen, unter anderem für Multiplexdiagnosen im Routinebetrieb.

Lab-on-a-Chip-Systeme für schnelle Analysen

Im Blut zirkulierende Zellen und Biomoleküle sind Träger diagnostischer Information, deren Analyse ein Schlüssel für hochwirksame, individuelle Therapiekonzepte ist. Um diese Information zu erschließen, entwickeln Wissenschaftler des Fraunhofer ILT Mikrochip-basierte Sorter, sogenannte μ FACS-Systeme (Microchip Based Fluorescence Activated Cell Sorter). Über laserinduzierte Fluoreszenz werden in mikrofluidischen Kanälen klinisch relevante Zellen einer Blutprobe nachgewiesen und für weitere Untersuchungen schonend isoliert. Verschiedene Zelltypen können mit einem einzigen Sortier-Chip nachgewiesen und in separate Probengefäße aufgetrennt werden, wobei die Vitalität und Teilungsfähigkeit der Zellen erhalten bleiben.

Sortieren von Zellen und Biomolekülen mit Licht

Zellen weisen charakteristische Proteine auf, die in der Zellmembran eingelagert sind. Diese Proteine besitzen eine Struktur, an die Markermoleküle anbinden können. Die Markermoleküle werden mit Antikörper-Farbstoffkonjugaten spezifisch angefärbt, die im μ FACS-System mit Laserlicht zur Emission angeregt und auf diese Weise sichtbar gemacht werden. Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge können verschieden markierte Zellen differenzieren. Die Leitung des Fluoreszenzlichts erfolgt über ein Fasernetzwerk zu einem optischen Detektionssystem, das das emittierte Licht analysiert und einer bestimmten Spezies von Zellen zuordnet.

Mithilfe von fokussiertem infrarotem Laserlicht lassen sich die Zellen in einem zweiten Schritt gezielt durch ein Netzwerk von fluidischen Verzweigungen dirigieren und damit sortieren. Die gemessene Fluoreszenzinformation gibt dabei vor, wo eine Zelle einsortiert wird. Bei diesem opto-fluidischen Schaltprozess wird die Zelle an einer Verzweigung immer in denjenigen

Abzweig gelenkt, der zuvor mit Infrarotlicht bestrahlt wurde. Komplexe Sortierstrukturen bestehen aus einer Kombination vieler solcher schaltbarer Verzweigungen von mikrofluidischen Kanälen. Die Kanäle münden in je ein Sammelgefäß und erlauben die simultane Sortierung von verschiedenen Zellspezies.

Schnelle Infektionsdiagnostik und Resistenztests

Dieser mikrofluidische Sortierprozess eignet sich hervorragend für den Einsatz in der Infektionsdiagnostik, beispielsweise zum Nachweis und zur Isolation von Pathogenen im Blut. Bei bakteriellen Erregern können die isolierten Pathogene weiterkultiviert und zum Wirksamkeitstest auf Antibiotika verwendet werden: Isolation der Erreger, anschließende Ablage in einem Kulturgefäß, weitere Vermehrung und Testung verschiedener Antibiotika. Die einzelnen Schritte beanspruchen nur wenig Zeit, sodass auch die Gesamtdiagnosedauern gering sind. Patientenindividuelle, hochspezifische Wirkprofile von Antibiotika für die Therapie einer bakteriellen Infektion können innerhalb weniger Stunden erstellt werden. Im Vergleich zu herkömmlichen Resistenztests spart die Diagnose mit dem μ FACS wertvolle Zeit von 1 bis 2 Tagen, die im Hinblick auf die Therapiewahl entscheidend sein kann.

Tumorfrüherkennung mit Laserlicht

Tumorzellen zirkulieren bereits in einem sehr frühen Stadium einer Krebserkrankung im Blut. Ihr Nachweis kann bei der Frühdiagnostik von Krebs eingesetzt werden, noch bevor die Krankheit Symptome hervorruft oder mit bildgebenden Verfahren nachweisbar ist. Zirkulierende Tumorzellen im Blut können mit dem μ FACS nachgewiesen und zur weiteren klinischen Untersuchung im Sortier-Chip isoliert werden. Die isolierten Zellen stehen nach dem Sortiervorgang für eine personalisierte Therapieauswahl mit signifikant erhöhtem Therapieerfolg zur Verfügung.

Eine einzige Analyse für den Nachweis einer Vielzahl von Erkrankungen

Die verschiedenen Detektionskanäle des μ FACS können für den gleichzeitigen Nachweis verschiedener Markermoleküle im Blut verwendet werden. Die Multiplexdiagnostik erlaubt so in einem einzigen Markierungsschritt und bei nur einem Messdurchlauf den Nachweis von aktuell bis zu sechzehn verschiedenen Krankheitsmarkern. Bei einer solchen Multiplexanalyse lassen sich die Markermoleküle durch ein Gemisch verschiedener diagnostischer Partikelfractionen in einer Blutprobe spezifisch binden und über die Partikelfluoreszenz nachweisen. In den jährlichen Routinechecks beim Hausarzt könnten so aus einer Blutprobe mit nur einem Test eine Vielzahl möglicher Erkrankungen früh diagnostiziert werden, um damit Volkskrankheiten wie z. B. Herz-Kreislauf-Erkrankungen vorzubeugen.

Ausgewählte Forschungsergebnisse

Thema Medizintechnik: Seite 37, 92–96 und 103.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

UMWELT

LASERTECHNISCHE LÖSUNGEN FÜR INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT

OPTIMIERTE RÜCK- GEWINNUNG WERTVOLLER ROHSTOFFE MITTELS LASERMESSTECHNIK

Das Fraunhofer ILT entwickelt Messverfahren zur Optimierung der Rohstoffeffizienz in der Rohstoff- und Recyclingindustrie. Damit leisten wir gemeinsam mit innovativen Unternehmen einen Beitrag zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen.

Ressourcenschonung ist Umweltschutz

Die Ausbeutung natürlicher Rohstoffe beeinträchtigt nicht nur lokal die Umwelt, sondern führt in ihrem gegenwärtigen Ausmaß auch zu einer absehbaren Verknappung sowie zu Einschränkungen für die Wirtschaft und die Bevölkerung. Der Rohstoffverbrauch in Deutschland lag 2017 pro Kopf statistisch bei 16 Tonnen pro Jahr und damit etwa 100 Prozent über dem weltweiten Durchschnitt.

Für eine nachhaltige Rohstoffwirtschaft ist ein Umdenken erforderlich, das einerseits zu einer ressourcensparenden Wirtschaftsweise und andererseits zu einer intensiven Kreislaufwirtschaft führen muss. Dieser Prozess hat bereits begonnen und zeigt sich u. a. darin, dass die Effizienz der Rohstoffnutzung seit 2000 bereits um etwa ein Viertel gesteigert wurde.

Moderne Prozesssteuerung mit Lasertechnik

Da die Qualität natürlicher Rohstoffe Schwankungen unterliegt und sich ein nachhaltiger Abbau nicht auf die besten Güten beschränken kann, müssen die industriellen Prozesse flexibel geführt und stets optimal an die momentanen Materialeigenschaften angepasst werden.

Moderne Prozesssteuerung stützt sich dabei auf eine Kombination aus Modellrechnungen und engmaschigen Messungen. Die Lasertechnik ermöglicht die direkte Untersuchung von Materialströmen ohne Probenahmen und liefert kontinuierlich und ohne Zeitverzögerung Ergebnisse sowohl über den physikalischen Zustand als auch die chemische Zusammensetzung. So kann die Energiezufuhr oder die Dosierung von Zuschlagstoffen laufend bedarfsgerecht geregelt sowie die Intensität der Vorverarbeitung angepasst werden, statt mit großen Sicherheitsmargen zu arbeiten.

Rohstoffe zurückgewinnen

Einen Schritt weiter geht die Einbindung der Messtechnik im Bereich Recycling zur Trennung von unterschiedlichen Werkstoffen. Optische Sensoren erkennen z. B. Verpackungskunststoffe oder Altglas, um diese sortenrein zu trennen.

In der Metallherstellung wird Recycling schon lange wirtschaftlich betrieben, da der Materialwert hoch ist und viele Metalle sich ohne Qualitätsverlust beliebig oft wiedereinschmelzen lassen. Zusätzlich bringt das Recycling im Vergleich zur Metallproduktion aus mineralischen Primärrohstoffen eine große Energieeinsparung, im Fall von Aluminium sogar bis zu 90 Prozent. Neue Herausforderungen ergeben sich mit der zunehmenden Materialvielfalt. Die Bandbreite der industriell verwendeten Metalle und Metalllegierungen steigt stetig, beispielsweise für den Leichtbau im Automobilbereich.



Für ein verlustfreies Recycling müssen die Metalle bis auf Legierungsebene sortenrein getrennt werden, was eine chemische Analyse erfordert. Das Fraunhofer ILT hat hier Pionierarbeit geleistet und erfolgreich gezeigt, dass sich mit der Laseranalyse die Legierungsbestandteile von Metallschrotten berührungslos und schnell schon während des Transports auf dem Förderband bestimmen lassen und sogar einzelne Aluminium-Knetlegierungen identifiziert werden können. Laufende Arbeiten erweitern diese Möglichkeiten auch auf komplexere Materialien wie z. B. Werkzeugschrotte.

Kreislaufwirtschaft

Neue Ansätze zur Erschließung von Sekundärrohstoffen bringen die Rohstoffströme dem Ideal der geschlossenen Kreislaufwirtschaft näher. Konzepte des Urban-Mining oder der inversen Produktion versuchen dabei, Produkt- und Stoffströme an weiteren Stellen zu verbinden. Technologiemetalle, die für eine Vielzahl technologischer Produkte unverzichtbar sind, werden heute als Primärrohstoffe nicht in Deutschland und Europa gewonnen und ihre Verfügbarkeit wird als kritisch eingestuft. Diese Metalle könnten aus Abfallprodukten gewonnen werden, gehen jedoch derzeit noch größtenteils in den bestehenden Recyclingprozessen verloren oder werden exportiert. Der Export führt dabei häufig zur Deponierung oder zur Rückgewinnung unter Arbeitsbedingungen und mit Umweltfolgen, die nicht unseren Mindestanforderungen entsprechen.

Hier setzen neue Verfahren an, wie sie am Fraunhofer ILT mit den ADIR-Verbundpartnern am Beispiel des Elektrorecyclings durchgeführt werden. Lasermessverfahren erkennen wertvolle Bestandteile und ermöglichen eine gezielte Verwertungsstrategie auch bei großer Produktvielfalt. Mit lasergestützten Verfahren werden anschließend die wertstoffhaltigen Komponenten entnommen und einer spezifischen Verarbeitung zugeführt.

Monitoring in Produktion und Umwelt

Schnelle, berührungslose Lasermessungen sind auch in der Überwachung wertvolle Werkzeuge. Die kontinuierliche Prüfung von Halbzeugen, z. B. zur Vermeidung von Materialverwechslungen, reduziert Produktionsausschuss und Folgeschäden und steigert damit auch die Rohstoffeffizienz. Das Monitoring von Bei- oder Nebenprodukten kann deren Verwertbarkeit sicherstellen. Mit Lasern kann sogar die Zusammensetzung von heißen, schmelzflüssigen Schlacken bestimmt und laufend überwacht werden, um zu prüfen, ob diese frei von bestimmten Verunreinigungen sind und z. B. als Baustoffe gefahrlos eingesetzt werden können.

Die Überwachung von Transportleitungen und Prozessanlagen kann mit Laserfernmessungen großflächig erfolgen, um unerwünschte Emissionen zu vermeiden. Hubschrauber mit Lasersensoren werden eingesetzt, um Methanaustritte aus Erdgasleitungen aufzuspüren und so nicht nur den Verlust, sondern auch klimaschädigende Auswirkungen schnell und effizient beheben zu können.

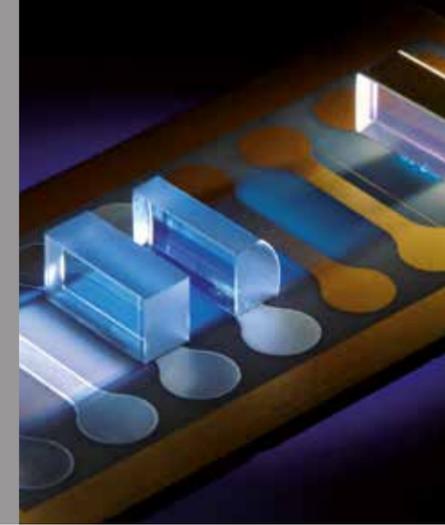
Ausgewählte Forschungsergebnisse

Thema Umwelt: Seite 97, 101 und 102.

Weitere Informationen im Internet unter:

www.ilt.fraunhofer.de

AUS DEN TECHNOLOGIEFELDERN



LASER UND OPTIK

Das Technologiefeld Laser und Optik steht für innovative Laserstrahlquellen und hochwertige optische Komponenten und Systeme. Das Team der erfahrenen Laserexperten entwickelt Strahlquellen mit maßgeschneiderten räumlichen, zeitlichen und spektralen Eigenschaften und Ausgangsleistungen im Bereich μW bis GW . Das Spektrum der Laserstrahlquellen reicht von Diodenlasern bis zu Festkörperlasern, von Hochleistungsw-Lasern bis zu Ultrakurzpulslasern und von single-frequency Systemen bis hin zu breitbandig abstimmbaren Lasern.

Bei den Festkörperlasern stehen sowohl Oszillatoren als auch Verstärkersysteme mit herausragenden Leistungsdaten im Zentrum des Interesses. Ob Laserhersteller oder Anwender, die Kunden erhalten nicht nur maßgeschneiderte Prototypen für ihren individuellen Bedarf sondern auch Beratung zur Optimierung bestehender Systeme. Insbesondere im Bereich der Kurzpulslaser und der Breitbandverstärker können zahlreiche Patente und Rekordwerte als Referenz vorgewiesen werden.

Darüber hinaus bietet das Technologiefeld hohe Kompetenz bei Strahlformung und Strahlführung, dem Packaging optischer Hochleistungskomponenten und dem Design optischer Komponenten. Auch die Auslegung hocheffizienter Freiformoptiken zählt zu den Spezialitäten der Experten.

Die Anwendungsgebiete der entwickelten Laser und Optiken reichen von der Lasermaterialbearbeitung und der Messtechnik über Beleuchtungsapplikationen und Medizintechnik bis hin zum Einsatz in Weltraumapplikationen und der Grundlagenforschung.

LASERMATERIAL-BEARBEITUNG

Zu den Fertigungsverfahren des Technologiefelds Lasermaterialbearbeitung zählen die Trenn- und Fügeverfahren in Mikro- und Makrotechnik sowie die Oberflächenverfahren. Ob Laserschneiden oder Laserschweißen, Bohren oder Löten, Laserauftragschweißen oder Reinigen, Strukturieren oder Polieren, Generieren oder Beschichten, das Angebot reicht von Verfahrensentwicklung und Machbarkeitsstudien über Simulation und Modellierung bis hin zur Integration der Verfahren in Produktionslinien.

Die Stärke des Technologiefelds beruht auf dem umfangreichen Prozess-Know-how, das auf die Kundenanforderungen zugeschnitten wird. So entstehen auch Hybrid- und Kombinationsverfahren. Darüber hinaus werden in Kooperation mit spezialisierten Netzwerkpartnern komplette Systemlösungen angeboten. Sonderanlagen, Anlagenmodifikationen und Zusatzkomponenten sind Bestandteil zahlreicher FuE-Projekte. So werden spezielle Bearbeitungsköpfe für die Lasermaterialbearbeitung nach Kundenbedarf entwickelt und gefertigt. Auch Prozessoptimierungen durch Designänderungen von Komponenten sowie Systeme zur Online-Qualitätsüberwachung zählen zu den Spezialitäten des Technologiefelds.

Der Kunde erhält somit laserspezifische Lösungen, die Werkstoff, Produktdesign, Konstruktion, Produktionsmittel und Qualitätssicherung mit einbeziehen. Das Technologiefeld spricht Laseranwender aus unterschiedlichen Branchen an: vom Maschinen- und Werkzeugbau über Photovoltaik und Feinwerktechnik bis hin zum Flugzeug- und Automobilbau.

MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK

Gemeinsam mit Partnern aus den Life Sciences erschließt das Technologiefeld Medizintechnik und Biophotonik neue Einsatzgebiete des Lasers in Therapie und Diagnostik sowie in Mikroskopie und Analytik. Mit dem Selective Laser Melting Verfahren werden generativ patientenindividuelle Implantate auf der Basis von Computertomographie-Daten gefertigt. Die Materialvielfalt reicht von Titan über Polylactid bis hin zu resorbierbarem Knochenersatz auf Kalzium-Phosphat-Basis.

Für Chirurgie, Wundbehandlung und Gewebetherapie werden in enger Kooperation mit klinischen Partnern medizinische Laser mit angepassten Wellenlängen, mikrochirurgische Systeme und neue Lasertherapieverfahren entwickelt. So werden beispielsweise die Koagulation von Gewebe oder der Präzisionsabtrag von Weich- und Hartgewebe untersucht.

Die Nanoanalytik sowie die Point-of-care Diagnostik erfordern kostengünstige Einweg-Mikrofluidikbauteile. Diese werden mit Hilfe von Laserverfahren wie Fügen, Strukturieren und Funktionalisieren mit hoher Genauigkeit bis in den Nanometerbereich gefertigt. Die klinische Diagnostik, die Bioanalytik und die Lasermikroskopie stützen sich auf das profunde Know-how in der Messtechnik. Im Themenbereich Biofabrication werden Verfahren für In-vitro-Testsysteme oder Tissue Engineering vorangetrieben. Mit der Nanostrukturierung und der photochemischen Oberflächenmodifikation leistet das Technologiefeld einen Beitrag zur Generierung biofunktionaler Oberflächen.

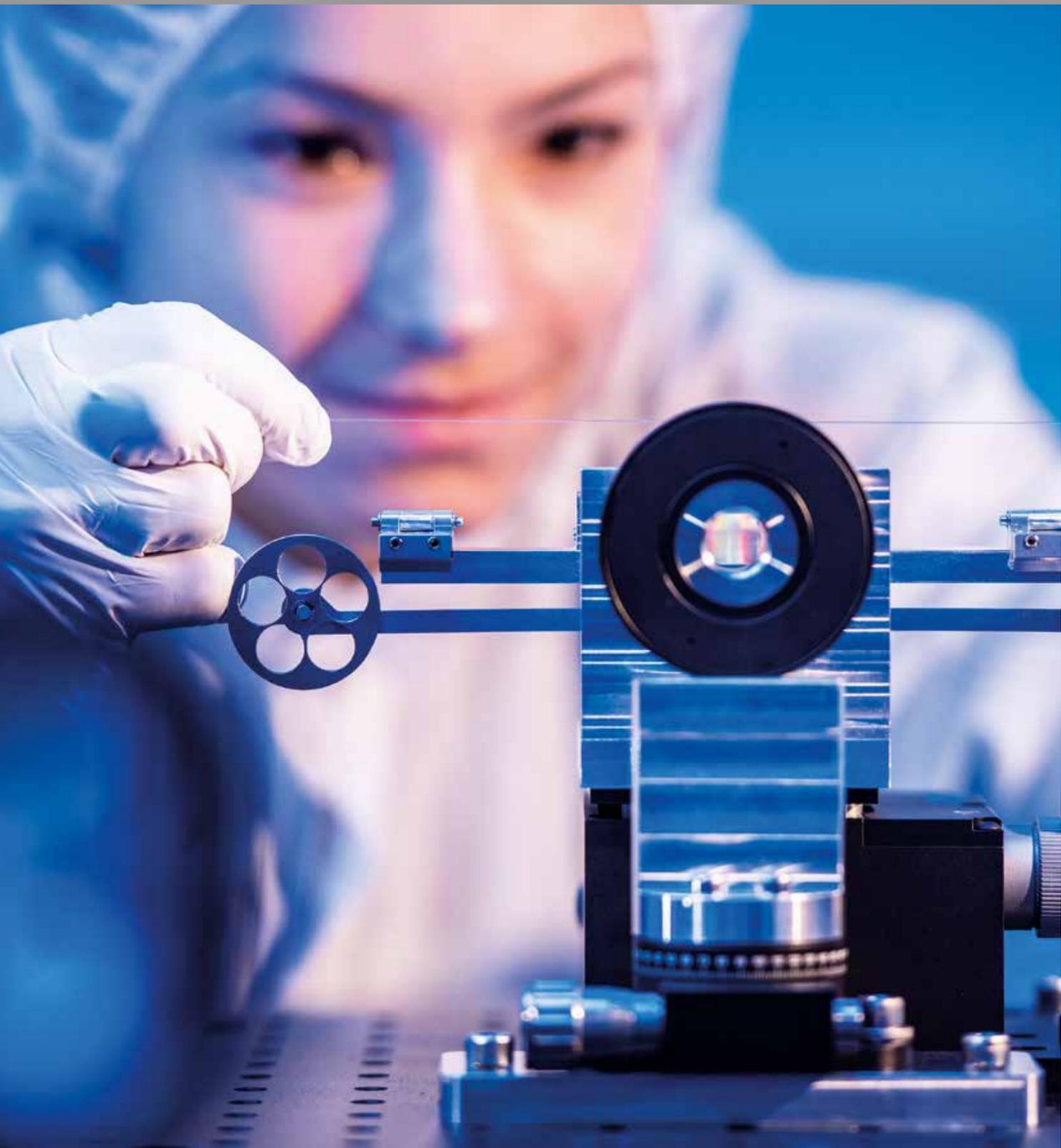
LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE

Die Schwerpunkte des Technologiefelds Lasermesstechnik und EUV-Technologie liegen in der Fertigungsmesstechnik, der Materialanalytik, der Identifikations- und Analysetechnik im Bereich Recycling und Rohstoffe, der Mess- und Prüftechnik für Umwelt und Sicherheit sowie dem Einsatz von EUV-Technik. In der Fertigungsmesstechnik werden Verfahren und Systeme für die Inline-Messung physikalischer und chemischer Größen in einer Prozesslinie entwickelt. Schnell und präzise werden Abstände, Dicken, Profile oder die chemische Zusammensetzung von Rohstoffen, Halbzeugen oder Produkten gemessen.

Im Bereich Materialanalytik wurde profundes Know-how mit spektroskopischen Messverfahren aufgebaut. Anwendungen sind die automatische Qualitätssicherung und Verwechslungsprüfung, die Überwachung von Prozessparametern oder die Online-Analyse von Abgasen, Stäuben und Abwässern. Je genauer die chemische Charakterisierung von Recyclingprodukten ist, umso höher ist der Wiederverwertungswert. Die Laser-Emissionsspektroskopie hat sich hier als besonders zuverlässige Messtechnik erwiesen. Neben der Verfahrensentwicklung werden komplette Prototypanlagen und mobile Systeme für den industriellen Einsatz gefertigt.

In der EUV-Technik entwickeln die Experten Strahlquellen für die Lithographie, die Mikroskopie, die Nanostrukturierung oder die Röntgenmikroskopie. Auch optische Systeme für Applikationen der EUV-Technik werden berechnet, konstruiert und gefertigt.

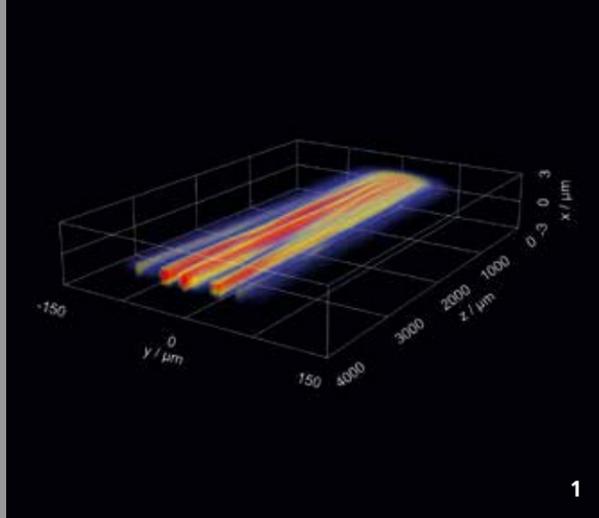
LASER UND OPTIK



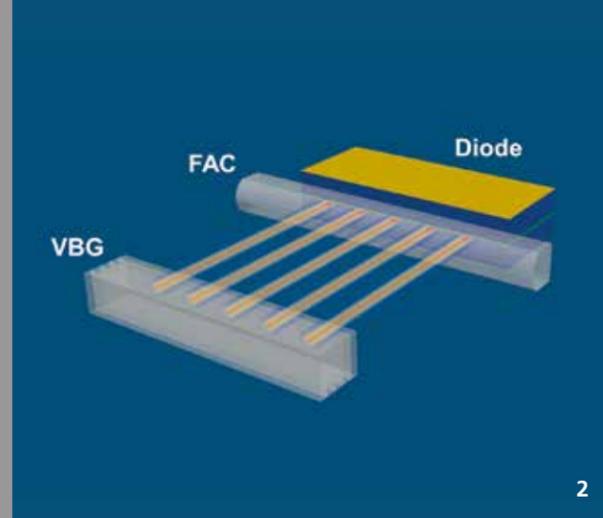
INHALT

Multiphysikalische Modellierung von Hochleistungslaserdioden	34
Robuster kompakter Hochleistungs-Ultrakurzpulsverstärker auf Yb-INNOSLAB-Basis	35
Nd:INNOSLAB High-Gain-Laserverstärker mit 400 W Ausgangsleistung	36
Gepulste Tm:YLF-Laserstrahlquelle bei 1,9 μm	37
Hochstabile Faserverstärker für Gravitationsmessungen	38
Untersuchung der Kopplung transversaler Moden in optischen Fasern	39
Faser-Bragg-Gitter für die Frequenzstabilisierung von Multimode-Hochleistungslasern	40
Laserstrahlbearbeitung von Glas für Strukturen mit großem Aspektverhältnis	41
Einsatz von Löttechnologien in der Fasermontage	42
Detaillsimulation eines parametrischen Frequenzkonverters für die »MERLIN«-Mission	43
Parametrische Photonenquellen für Quantenimaging-Anwendungen	44
Auslegung von Freiformoptiken für ausgedehnte Lichtquellen	45

Einschreiben von Bragg-Gittern in optische Fasern.



1



2



3

MULTIPHYSIKALISCHE MODELLIERUNG VON HOCHLEISTUNGSLASERDIODEN

Aufgabenstellung

Hochleistungslaserdioden weisen die höchsten elektrooptischen Wirkungsgrade aller Laserstrahlquellen auf. Abhängig von Emissionswellenlänge und Arbeitspunkt werden derzeit Wirkungsgrade bis ca. 70 Prozent erreicht. Die Verschlechterung der Strahlqualität bei hohen Ausgangsleistungen sowie die Empfindlichkeit gegenüber reflektierter Strahlung behindern derzeit den Einsatz direkter Diodenlasersysteme in Anwendungen, die eine hohe Brillanz erfordern, wie beispielsweise das Laser-Remote-Schweißen. Die Empfindlichkeit der Laserdioden gegenüber Rückreflexen führt zu Betriebspunkten unterhalb der möglichen Maximalleistung.

Vorgehensweise

Mit der am Fraunhofer ILT entwickelten Software »SEMSIS« können die Ausbreitung des optischen Feldes innerhalb der Diodenstruktur, die Verteilung der elektrischen Stromdichte und der injizierten Ladungsträger sowie die daraus resultierende optische Verstärkung berechnet werden. Im thermischen Modell wird darüber hinaus die Erwärmung der Diode durch elektrische Verluste und optische Absorption berücksichtigt. Externe Resonatoren mit Elementen zur spektralen Stabilisierung werden durch ein wellenoptisches Modell beschrieben. Ein Defektmodell dient schließlich zur Beschreibung der Alterungsprozesse innerhalb der Diode.

Ergebnis

Durch die Berücksichtigung der komplexen Wechselwirkungsprozesse innerhalb des Diodenemitters kann die Reduzierung der Strahlqualität bei hohen Leistungen im Modell abgebildet werden. Bild 1 zeigt dies anhand des filamentierten optischen Feldes innerhalb eines Emitters. Zusätzlich können die Auswirkungen von externer optischer Rückkopplung auf die Strahlqualität sowie von Schädigungsmechanismen untersucht werden.

Anwendungsfelder

Die Software ermöglicht ein prädiktives Design neuartiger Halbleiterstrukturen und externer optischer Resonatoren, die im Hinblick auf Strahlqualität und Lebensdauer optimiert werden. Dadurch ist eine zielgerichtete Optimierung des Diodendesigns möglich, sodass kosten- und zeitaufwändige Parameterstudien an real gefertigten Dioden deutlich reduziert werden können.

Ansprechpartner

Martin Adams M.Sc.
Telefon +49 241 8906-509
martin.adams@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Martin Traub
Telefon +49 241 8906-342
martin.traub@ilt.fraunhofer.de

ROBUSTER KOMPAKTER HOCHLEISTUNGS-ULTRAKURZPULSVERSTÄRKER AUF YB-INNOSLAB-BASIS

Aufgabenstellung

Basierend auf dem am Fraunhofer ILT entwickelten Yb:YAG-INNOSLAB-Konzept sollen für die Firma Amplitude Systèmes kundenspezifisch angepasste Ultrakurzpulsverstärker entwickelt werden. Außerdem soll durch Know-how-Transfer die weitere Entwicklung und Anpassung dieser 400 W-Leistungsverstärker für sub-ps-Pulse sichergestellt werden.

Vorgehensweise

Im Hinblick auf die besonderen Anforderungen an Kompaktheit, Einfachheit der Justage und Robustheit gegenüber Umgebungsbedingungen wurde die vorhandene Yb-INNOSLAB-Verstärkerplattform grundlegend überarbeitet und basierend darauf zwei Prototypen für Amplitude Systèmes realisiert und eingehend experimentell charakterisiert. Die Schulung der Mitarbeiter in Bezug auf Aufbau und Justage der INNOSLAB-Verstärker war ein wichtiger Bestandteil des Projekts.

Ergebnis

Mit den Prototypen wurde die Verstärkung von ca. 5 W Seedleistung auf über 500 W Ausgangsleistung bei Pulsdauern < 500 fs demonstriert. Ohne CPA wurde das System bei Repetitionsraten von 20 MHz, d. h. Pulsenergien > 25 μ J, betrieben. In Klima- und 24-Studentests wurden das Temperaturverhalten und die Langzeitstabilität der Laserleistung und damit die grundlegende Eignung für den industriellen Einsatz demonstriert.

Anwendungsfelder

Das Verstärkerdesign wird von Amplitude Systèmes unter anderem in kommerzielle Lasersysteme für den Einsatz in der Materialbearbeitung, der Messtechnik und der Wissenschaft integriert.

Ansprechpartner

Jan Schulte M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8311
jan.schulte@ilt.fraunhofer.de

Dr. Peter Rußbüldt
Telefon +49 241 8906-303
peter.russbuedt@ilt.fraunhofer.de

1 Optisches Feld innerhalb einer Laserdiode.

2 Optische Rückkopplung in externen Resonatoren.

3 Hochleistungs-INNOSLAB-Verstärker (Mitte) integriert in kommerzielles Lasersystem.



ND:INNOSLAB HIGH-GAIN-LASERVERSTÄRKER MIT 400 W AUSGANGSLEISTUNG

Aufgabenstellung

Kurzpuls laser mit Pulsdauern im sub-ns-Bereich werden heute in zahlreichen Anwendungen im Bereich der Lasermaterialbearbeitung wie zum Beispiel im Automobilbau, in der Elektronik oder auch bei der Strukturierung von Dünnschichten eingesetzt. Herausforderungen sind dabei die Skalierung der Laserleistung, die Vereinfachung der Strahlquelle mit dem Ziel einer hohen Robustheit und die Senkung der Herstellkosten. Derzeit bestehen Hochleistungs-Kurzpulsstrahlquellen in der Regel aus einem modengekoppelten Oszillator und einem nachgeschalteten mehrstufigen Verstärker. Ziel des BMBF-geförderten Verbundprojekts »IMPULS« ist unter anderem die Entwicklung eines Laserverstärkers für sub-ns-Pulse, der eine möglichst hohe Verstärkung und eine Skalierung der Ausgangsleistung in den Bereich über 300 W bei Pulsrepetitionraten von einigen 100 kHz ermöglicht. Dabei soll nur eine Verstärkerstufe verwendet werden.

Vorgehensweise

Die Zielsetzung soll durch Optimierung des etablierten, auf Nd:YVO₄-Kristallen basierenden INNOSLAB-Konzepts erreicht werden. Dazu werden Techniken wie das »in-band«-Pumpen, die Anpassung von Kristallgeometrie und Wärmesenke sowie ein vorteilhaftes Dotierungsprofil im Laserkristall untersucht. Die Strahlpropagation des zu verstärkenden Strahls im Laserverstärker stellt einen weiteren Freiheitsgrad dar, der für das Erreichen einer maximalen Verstärkung optimiert wird.

1 Einstufiger 400 W Nd:YVO₄-Laserverstärker.

Ergebnis

Bei Puls wiederholraten von mehr als 400 kHz und Pulslängen von 10 ps und 300 ps wird eine mittlere Laserleistung von mehr als 400 W mit einem einstufigen INNOSLAB-Verstärker erreicht. Hierbei konnte eine Pulsenergie von 950 μJ auch für Pulslängen von 10 ps bei gleichzeitig 392 W mittlerer Leistung gezeigt werden. Die Strahlqualität liegt ohne weitere Filterung bei $M^2 < 1,5$ bei einer o/o Effizienz von mehr als 40 Prozent. Eine effiziente einstufige Verstärkung von mehr als 470 für eine Eingangsleistung von 0,5 auf 235 W Ausgangsleistung wird nachgewiesen.

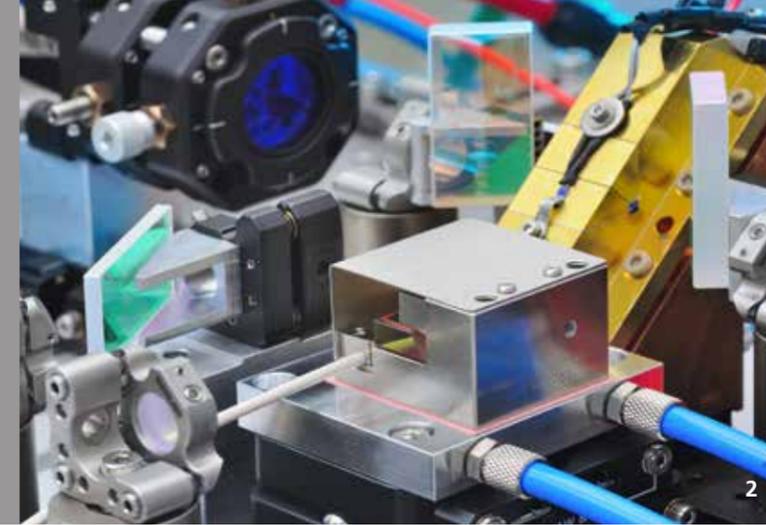
Anwendungsfelder

Die entwickelte Laserstrahlquelle eignet sich mit den dargestellten Parametern insbesondere als Fundamentalstrahlquelle für die Frequenzkonversion. Daher sind im Rahmen des Verbundprojekts »IMPULS« neben der Bereitstellung der Grundwellenlänge von 1064 nm auch Arbeiten zur Frequenzkonversion ins UV und MIR sowie die Durchführung von vergleichenden Experimenten zur Lasermaterialbearbeitung vorgesehen. Die Experimente sollen an unterschiedlichen Komponenten aus der Automobilindustrie durchgeführt werden und insbesondere Bauteile aus Polymerwerkstoffen und Faserverbundwerkstoffen adressieren.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N13966 durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Marco Höfer
Telefon +49 241 8906-128
marco.hoef@ilt.fraunhofer.de



GEPULSTE TM:YLF-LASER-STRABLQUELLE BEI 1,9 μm

Aufgabenstellung

Im Rahmen des Kooperationsprojekts »DIVESPOT« mit dem Max-Planck-Institut für Struktur und Dynamik der Materie entwickelt das Fraunhofer ILT eine gepulste Laserstrahlquelle bei einer Ausgangswellenlänge von 1,9 μm. Die Strahlquelle soll zum optischen Pumpen des Verstärkungsmediums Cr:ZnSe dienen. Da die Lumineszenz-Lebensdauer von Cr:ZnSe im oberen Zustand bei Raumtemperatur nur etwa 5 μs beträgt, muss die Leistung für ein effizientes Pumpen in hochenergetischen kurzen Impulsen bereitgestellt werden. Es werden Repetitionsraten bis zu 10 kHz und Pump-Pulsenergien im mJ-Bereich angestrebt.

Vorgehensweise

Zur Erzeugung von Laserlicht mit einer Wellenlänge von 1,9 μm wird ein Festkörperlaser mit Tm:YLF als Verstärkungsmedium aufgebaut. Zum Güteschalten des Lasers wird ein akustisch-optischer Modulator verwendet. Die geforderten Ausgangsparameter bedingen eine hohe mittlere Leistung im Oszillator. Um eine ausreichende Wärmeabfuhr zu erreichen, wird der Laserkristall daher in eine optimierte Wärmesenke eingebaut. Zudem wird er mittels Löttechnologie thermisch gut an die Wärmesenke angebunden. Zur Bereitstellung der benötigten optischen Pumpleistung wird der Tm:YLF-Stab von beiden Enden mit hochbrillianten Laserdioden gepumpt.

Ergebnis

Es konnte eine gepulste Laserstrahlquelle bei 1,9 Emissionswellenlänge realisiert werden. Die Repetitionsrate lässt sich zwischen 1 bis 9 kHz frei wählen. Dabei kann unabhängig von der Repetitionsrate eine Pulsenergie von mindestens 2 mJ im Grundmodebetrieb bereitgestellt werden. Die Pulslängen des Systems liegen im Bereich zwischen 300 und 650 ns.

Anwendungsfelder

Die entwickelte Laserstrahlquelle eignet sich zum optischen Pumpen des Lasermediums Cr:ZnSe. Laserstrahlquellen bei 1,9 μm sind geeignet zur Verwendung im medizinischen Bereich; z. B. als Laserskalpell in der Chirurgie. Ein weiteres mögliches Anwendungsgebiet ist das Kunststoffschweißen.

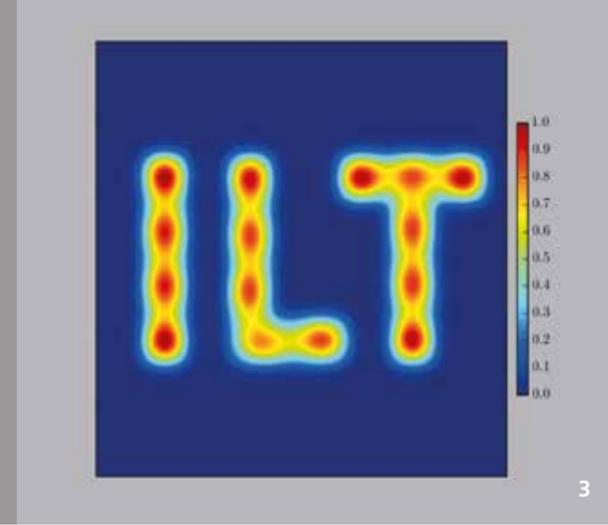
Das Projekt »DIVESPOT« wird im Rahmen des Fraunhofer-Max-Planck-Kooperationsprogramms gefördert.

Ansprechpartner

Benjamin Erben M.Sc.
Telefon +49 241 8906-657
benjamin.erben@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Marco Höfer
Telefon +49 241 8906-128
marco.hoef@ilt.fraunhofer.de

2 Gepulster Tm:YLF-Laser.



HOCHSTABILE FASERVERSTÄRKER FÜR GRAVITATIONSMESSUNGEN

Aufgabenstellung

Für Studien der europäischen Weltraumorganisation ESA werden am Fraunhofer ILT linear polarisierte, schmalbandige und leistungsstabilisierte Grundmode-Faserverstärker für den Einsatz in der satellitenbasierten Gravitationswellen- und Gravitationsfeldmessung entwickelt. Basierend auf einem hochstabilen Faserverstärker aus der Vorstudie für die Next Generation Gravity Field Mission (NGGM), der die Spezifikationen erfolgreich erfüllt hat, soll im Rahmen zweier Nachfolgeprojekte eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Leistungsskalierung sowie der Anhebung des technologischen Reifegrads (TRL) erfolgen.

Vorgehensweise

Um den Faserverstärker an die hohen Anforderungen der Gravitationswellenmessung mit einer Ausgangsleistung > 2 W und Seitenbändern im Abstand von $\pm 2,5$ GHz um die Zentralwellenlänge von 1064 nm anzupassen, wird das Design überarbeitet. Als Seeder dient ein kommerzieller Nicht-Planarer-Ring-Oszillator (NPRO), dessen Signal mittels eines optischen Halbleiterverstärkers (SOA) von 10 auf 100 mW verstärkt wird. Die hohe Stabilität des SOA wird durch eine Regelung des Pumpstroms über eine externe Fotodiode erzielt.

1 *Faserverstärker und Pumpdiodenbox des Lasers für die Vermessung des Erdgravitationsfelds.*

2 *Aktive Faser in Grundplatte.*

Die Steigerung des Faserverstärker-TRLs erfolgt durch Umwelttests der faseroptischen Komponenten diverser internationaler Hersteller sowie durch ein Update des mechanischen Designs. Basierend auf den Ergebnissen wurde ein weiterentwickelter Verstärker aufgebaut. Das komplette Verstärkersystem wurde anschließend in einer Umwelttestkampagne auf seine Weltraumtauglichkeit überprüft.

Ergebnis

Mit dem realisierten Prototypen für die Gravitationswellenmessung konnten die notwendigen Spezifikationen demonstriert werden. Darüber hinaus konnte die cw-Leistung bis in den Bereich von 10 W skaliert werden. Mit dem weiterentwickelten Modul für die Gravitationsfeldmessung wurde eine umfangreiche Umwelttestkampagne, bestehend aus Vibrations-, Schock- und Thermal-Vakuumtests, erfolgreich absolviert.

Anwendungsfelder

Die innovativen Faserverstärker finden Anwendung in der Messung von Gravitationswellen und des statischen Gravitationsfeldes sowie der Inter-Satelliten-Kommunikation.

Die Arbeiten wurden von der Europäischen Weltraumorganisation ESA unter den Kennzeichen 4000119715/17/NL/BW und RFQ/3-14347/15/NL/RA/zk gefördert.

Ansprechpartner

Patricia Betz M.Sc.
Telefon +49 241 8906-623
patricia.betz@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Oliver Fitzau
Telefon +49 241 8906-442
oliver.fitzau@ilt.fraunhofer.de

UNTERSUCHUNG DER KOPPLUNG TRANSVERSALER MODEN IN OPTISCHEN FASERN

Aufgabenstellung

Die maximal erreichbare Leistungsdichte in aktiven und passiven optischen Fasern ist im Singlemode-Regime größtenteils durch nichtlineare Effekte limitiert. Multimode-Fasern können genutzt werden, um diese Limitierungen zu überwinden. Bei der Propagation der Strahlung spielen hierbei Modenkopplungseffekte eine große Rolle und haben wesentlichen Einfluss auf die Homogenität und Strahlqualität. Zu diesem Zweck soll eine modenbasierte Simulation entwickelt werden, die den Einfluss verschiedener Faserparameter, wie zum Beispiel der Kerngeometrie oder der numerischen Apertur, auf die erreichbaren Strahldichten analysiert.

Vorgehensweise

Um die Eigenmoden von Stufenindexfasern mit beliebigen Fasergeometrien und Brechungsindexprofilen berechnen zu können, wird eine Simulation auf Basis der Finite-Elemente-Methode (FEM) entwickelt. Für die so bestimmten Moden kann der Einfluss von intrinsischen und extrinsischen Faktoren, wie z. B. Inhomogenitäten oder Biegeverluste, auf die Modenpropagation und die Modenkopplung in dielektrischen Wellenleitern bestimmt werden.

3 *Beispiel einer Nahfeldcharakteristik für Faser mit ILT-förmigem Brechungsindexprofil.*

Ergebnis

Mithilfe der Simulation können beliebige Fasergeometrien im Hinblick auf ihre Modencharakteristik und ihre Biegeempfindlichkeit untersucht werden. Weiterhin kann die Modenkopplung von transversalen Moden aufgrund von periodischen Strukturen und stochastisch verteilten Störungen in der Faser bestimmt werden. Mit diesem Verständnis kann die Modenkopplung gezielt, z. B. zur Homogenisierung der Strahlung, genutzt werden, um die Eigenschaften der Strahlung gezielt zu beeinflussen. In aktuellen Projekten wird an der Umsetzung und dem Test der so ausgelegten Fasern gearbeitet.

Anwendungsfelder

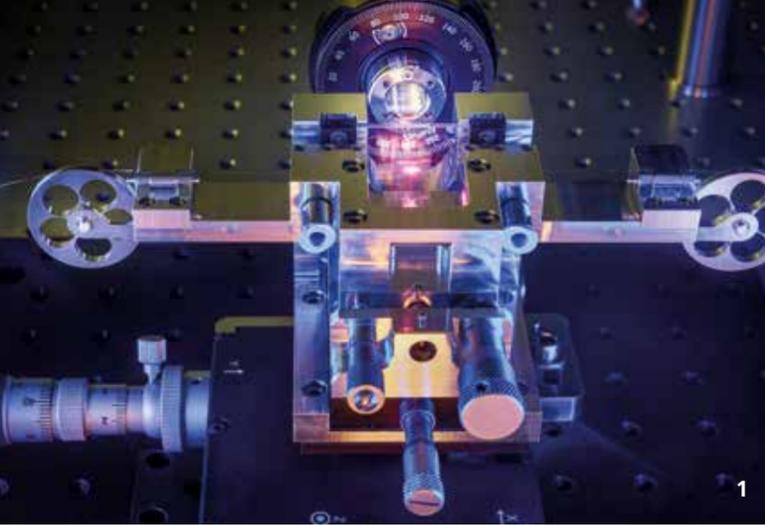
Das neue Simulationstool erlaubt die zielgerichtete Erstellung neuer Faserdesigns, die beispielsweise hinsichtlich ihrer erreichbaren Leistung oder Strahlhomogenität optimiert sind. Anwendungsfelder liegen in industriellen oder medizinischen Bereichen, in denen hohe Leistungen bzw. applikationsspezifische Strahlprofile benötigt werden. Durch die Verwendung von speziellen Fasern können neue Anwendungen ermöglicht sowie bestehende effizienter gestaltet werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen ZF4328102AB6 durchgeführt.

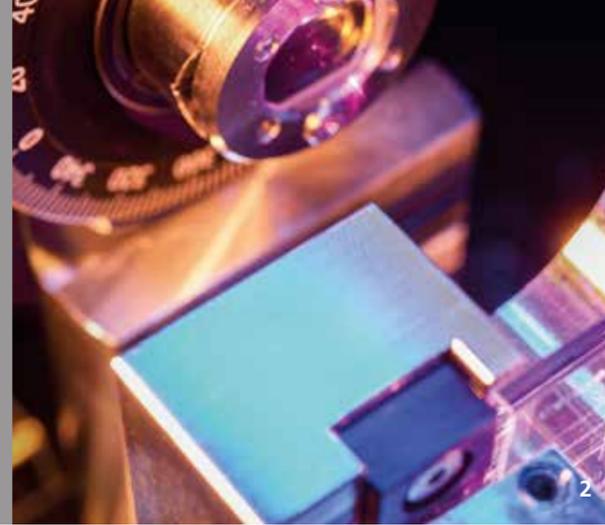
Ansprechpartner

Patrick Baer M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8251
patrick.baer@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Oliver Fitzau
Telefon +49 241 8906-442
oliver.fitzau@ilt.fraunhofer.de



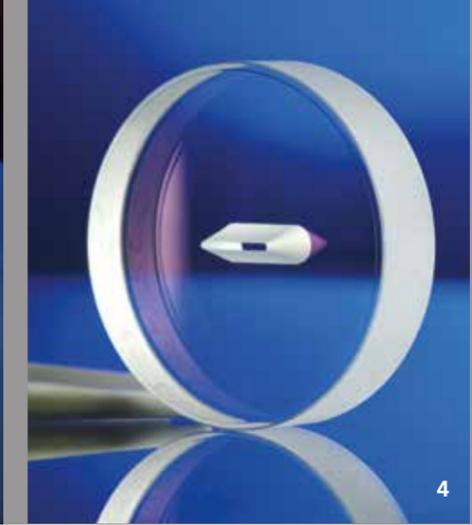
1



2



3



4

FASER-BRAGG-GITTER FÜR DIE FREQUENZSTABILISIERUNG VON MULTIMODE-HOCHLEISTUNGSLASERN

Aufgabenstellung

Faserlaser und fasergekoppelte Diodenlaser gehören zu den preisgünstigsten, effizientesten und flexibelsten Strahlquellen für cw-Laserapplikationen und werden deshalb für viele Anwendungen eingesetzt. Applikationen wie das effiziente Pumpen einiger laseraktiver Medien erfordern jedoch eine vergleichsweise schmale Emissionsbandbreite sowie eine stabile Zentralwellenlänge. Faser-Bragg-Gitter (FBG) fungieren als faseringegrierte externe, wellenlängenselektive Resonatorauskoppelspiegel und sollen daher zur Frequenzstabilisierung sowohl für fasergekoppelte Diodenlaser als auch für Faserlaser eingesetzt werden. Während für transversale Grundmodestrahlung diverse FBG kommerziell verfügbar sind, gibt es derzeit keine Lösungen für Multimodestrahlung.

Vorgehensweise

FBG bestehen aus einer periodischen Modulation des Brechungsindex entlang der Ausbreitungsrichtung des Lichts im Faserkern. Während der Abstand der Modulationen direkt proportional zur reflektierten Wellenlänge ist, beeinflussen Kontrast und Anzahl der Modulationen die spektrale Breite der Reflexion und den Reflexionsgrad. Unter Verwendung

1 *FBG-Workstation.*

2 *Langzeitbelichtung des FBG-Schreibprozesses mittels UKP-Laserstrahlung.*

eines UKP-Lasers im infraroten Emissionsbereich und Zweistrahlinterferenz werden diese periodischen Modulationen gezielt in den Faserkern geschrieben. Grundlage des Einschreibeverfahrens ist die nichtlineare Absorption im Glas, wodurch eine Vorbehandlung der Faser entfällt. Daher ist das Verfahren für eine Vielzahl kommerziell verfügbarer Fasern einsetzbar.

Ergebnis

Der im BMBF-Projekt »Ekolas« entwickelte modulare Aufbau zum Einschreiben von FBG ermöglicht den Einsatz angepasster Bearbeitungsoptiken für verschiedene Fasergeometrien. Die so hergestellten FBG wurden als externe Resonatorauskoppelspiegel zur Frequenzstabilisierung von Hochleistungsfaser- und Diodenlasern eingesetzt.

Anwendungsfelder

Die Technologie bietet für fasergekoppelte Multimode-Hochleistungsdioden- und Faserlaser die Möglichkeit, Frequenzstabilisierung faseringegriert aufzubauen und so auf zusätzliche optische Elemente zu verzichten.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben »Ekolas« wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N13914 durchgeführt.

Ansprechpartner

Sarah Klein M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8363
sarah.klein@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Oliver Fitzau
Telefon +49 241 8906-442
oliver.fitzau@ilt.fraunhofer.de

LASERSTRAHLBEARBEITUNG VON GLAS FÜR STRUKTUREN MIT GROSSEM ASPEKTVERHÄLTNISS

Aufgabenstellung

Die klassische feinmechanische Bearbeitung oder das Ultraschallbohren von Glaswerkstoffen und anderen dielektrischen Materialien stoßen an ihre Grenzen, wenn sehr feine Strukturen oder Bohrungen mit großen Aspektverhältnissen gefordert sind. Bei der Fertigung von Glasfasern mit Hohlstrukturen werden z. B. derzeit die Vorformen mit dem aufwändigen Stack-and-Draw-Verfahren hergestellt. Prinzipiell einfacher wäre eine massive Vorform, aus der die notwendigen Hohlstrukturen herausgebohrt werden. Gefordert sind dabei Bohrungen von ca. 1 mm Durchmesser bei einigen 10 cm Länge.

Für die verlustfreie geometrische Separation von Strahlenbündeln oder für Raumfilter sind hingegen kleine Öffnungen der Größenordnung 100 µm in Spiegelsubstraten erforderlich. Die Spiegeloberfläche um die Öffnung herum darf dabei nicht beeinträchtigt und die Kanten sollen möglichst scharf sein. Die beschriebenen Geometrien sind nach derzeitigem Stand der Technik mit klassischen Bearbeitungsverfahren nicht oder nur unter sehr großem Aufwand herstellbar.

Vorgehensweise

Als Alternative zu den klassischen Verfahren bietet sich das Inverse Laserstrahlbohren an. Dabei wird der Laserstrahl von oben durch das Werkstück auf dessen Unterseite fokussiert. Das Werkstück verfährt in Strahlpropagationsrichtung und die gewünschte Geometrie wird mittels Scanner Fläche für Fläche abgetragen. An den Oberflächen entstehen typischerweise Muschelausbrüche. Diese werden vermieden, indem vor der Bearbeitung ein Schutzsubstrat an die Oberfläche angesprengt und nach der Bearbeitung wieder entfernt wird.

Ergebnis und Anwendungsfelder

Mit diesem Verfahren ist die Geometrie einer PCF-Vorform (60 Bohrungen, 750 µm Durchmesser, 20 cm Länge) in BK7 gebohrt worden. Für Raumfilter und geometrische Auskoppler wurden hinterschnittene Löcher und Schlitze der Größenordnung 100 µm in Quarzglas-Spiegelsubstrate ohne Ausbrüche einstrukturiert. Auch andere Materialien wie Saphir, ULE™ oder YAG können mit dem Verfahren bearbeitet werden. Das Laserverfahren hat zudem den Vorteil, dass die Bearbeitung berührungsfrei und damit kontaminationsfrei erfolgt.

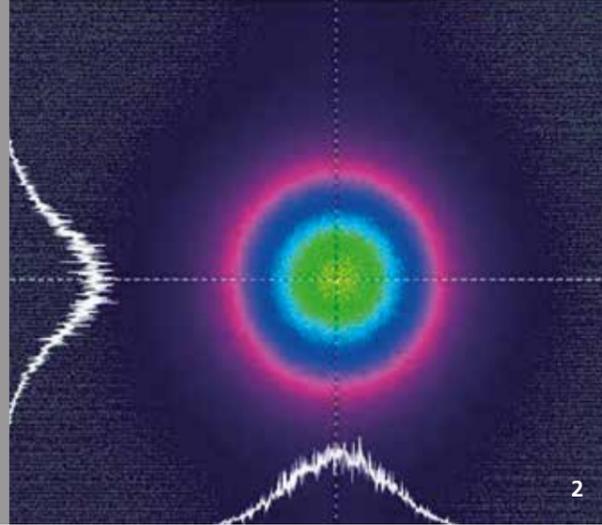
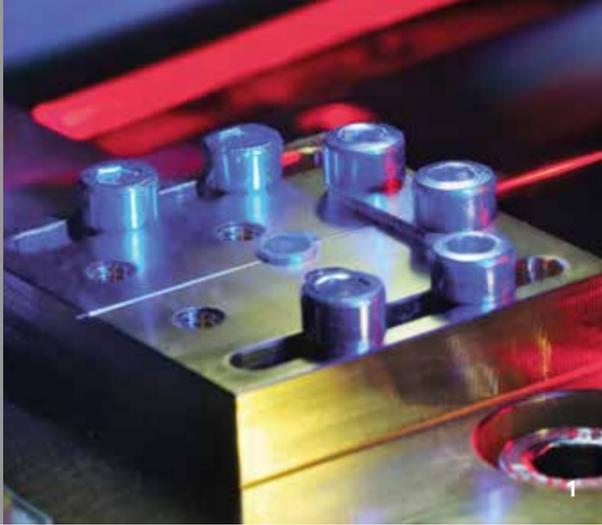
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Dipl.-Volksw. Dominik Esser
Telefon +49 241 8906-437
dominik.esser@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Oliver Fitzau
Telefon +49 241 8906-442
oliver.fitzau@ilt.fraunhofer.de

3 *Geometrie einer PCF-Faservorform.*

4 *Hinterschnittener und muschelausbruchfreier Schlitz in einem ULE-Spiegelsubstrat mit Durchmesser 25 mm und Dicke 6,35 mm.*



EINSATZ VON LÖTTECHNOLOGIEN IN DER FASERMONTAGE

Aufgabenstellung

Neben Weltraumapplikationen gewinnen Löttechnologien für optische Komponenten in industriellen Anwendungen an Bedeutung. Die Aktivlöttechnologie des Fraunhofer ILT soll für die flussmittelfreie Fasermontage eingesetzt werden. Die Montage erfolgt ohne eine Vermittlerschicht. Neben der Entwicklung des Montageprozesses sollen die relevanten Strahleigenschaften untersucht werden, um die Auswirkungen des Lötprozesses auf die Eigenschaften der Faser zu ermitteln.

Vorgehensweise

Mit geeigneten Aktivloten lassen sich Fasern auf metallische und nichtmetallische Substrate unter Umgebungsbedingungen montieren. Zunächst wird ein Verfahren zur schnellen und vollständigen Benetzung der Faser und der Oberfläche des Substrats eingesetzt. Beim Benetzungsprozess ist keine Vermittlerschicht in Form einer Metallisierung notwendig. Zur Reduzierung thermisch induzierter Spannungen ist der Einsatz von Weichloten vorteilhaft.

1 Metall-Faser-Lötverbindung.

2 NA-Messung einer verlöteten Faser.

Ergebnis

Am Fraunhofer ILT konnte der Einsatz dieser neuartigen Löttechnologie bei der Fasermontage demonstriert werden. Optische Messungen zeigen, dass bei polarisationserhaltenden Fasern die thermisch induzierten Spannungen kaum Einfluss auf die Strahleigenschaften der Faser haben. Ein weiterer Vorteil besteht in der hohen Wärmeleitfähigkeit der Schnittstelle. Im Vergleich zu herkömmlichen Montagearten, wie z. B. dem Kleben oder Klemmen, konnten durch Einsatz der Löttechnologie höhere optische Leistungen übertragen werden. Die mechanische Festigkeit der Lötverbindungen wurde durch Zugprüfungen nachgewiesen.

Anwendungsfelder

Durch das neue Montagekonzept mittels Aktivlötverfahren kann der Prozess der Fasermontage wirtschaftlicher und effizienter gestaltet werden. Neben robusten, temperaturbeständigen Verbindungen, die frei von organischen Materialien sind, ermöglicht die innovative Löttechnologie den Aufbau von langzeitstabilen, komplexen Lasersystemen für den Einsatz in Industrie und Forschung.

Ansprechpartner

Witalij Wirz M.Eng.
Telefon +49 241 8906-8312
witalij.wirz@ilt.fraunhofer.de

Dr. Heinrich Faidel
Telefon +49 241 8906-592
heinrich.faidel@ilt.fraunhofer.de

DETAILSIMULATION EINES PARAMETRISCHEN FREQUENZKONVERTERS FÜR DIE »MERLIN«-MISSION

Aufgabenstellung

Im Rahmen der französisch-deutschen Klimamission »MERLIN« soll die Methanverteilung in der Erdatmosphäre satellitengestützt gemessen werden. Dafür wird das Rückstreuungssignal von Laserpulsen mit zwei verschiedenen Wellenlängen auf bzw. neben einer Methanabsorptionslinie gemessen. Für den Lasertransmitter wird dazu ein optisch parametrischer Oszillator (OPO) eingesetzt, der die Laserpulse mit 1064 nm Eingangswellenlänge abwechselnd nach 1645,5518 nm (online) bzw. 1645,846 nm (offline) konvertiert. Dabei muss der OPO die benötigte Pulsenergie (9 mJ), Effizienz (30 Prozent) und Strahlqualität ($M^2 < 3$) mit präzise abgestimmten Strahleigenschaften bei beiden Wellenlängen bereitstellen.

Vorgehensweise

Die Realisierung einer robusten Flughardware erfolgt mittels einer am Fraunhofer ILT eigens für Raumfahrtanwendungen entwickelten Montagetechnologie. Auch bei den für das Optikdesign des OPO eingesetzten Softwaretools handelt es sich um Eigenentwicklungen, die eine realitätsnahe und präzise Vorhersage relevanter Strahleigenschaften überhaupt erst ermöglichen.

Ergebnis

Die detailgetreue OPO-Simulation zeigt, dass sich die räumlichen Strahleigenschaften des OPO bei der On- und Offline-Wellenlänge deutlich und in einem die Messperformance des

LIDAR-Verfahrens beeinträchtigenden Maße voneinander unterscheiden können, wenn das Design allein mit Blick auf Pulsenergie, Effizienz und Flächenbelastung optimiert wird. So kann etwa die Richtung beider Strahlachsen leicht um mehr als 200 μ rad differieren. Toleriert werden höchstens 40 μ rad. Erst die gezielte Analyse und Anpassung aller Designfreiheitsgrade im Computermodell ermöglicht es, Arbeitspunkte zu identifizieren, die tatsächlich alle Anforderungen der Mission gleichzeitig erfüllen. Eine experimentelle Suche nach diesem Parametersatz wäre unwirtschaftlich und unter zeitlichen Gesichtspunkten nicht sinnvoll.

Anwendungsfelder

Die vom Fraunhofer ILT entwickelten Simulationstools dienen neben der Optimierung des MERLIN-OPO auch zur Neuauslegung oder Performanceoptimierung anderer Laserstrahlquellen mit Ausgangswellenlängen von UV bis MIR.

Im Rahmen des Satellitenprojekts »MERLIN«, einer Kooperation zwischen DLR RfM und CNES, entwickelt das Fraunhofer ILT die Strahlquelle – das »Laser Optical Assembly« – des Lasertransmitters im Unterauftrag der Firma Airbus DS GmbH.

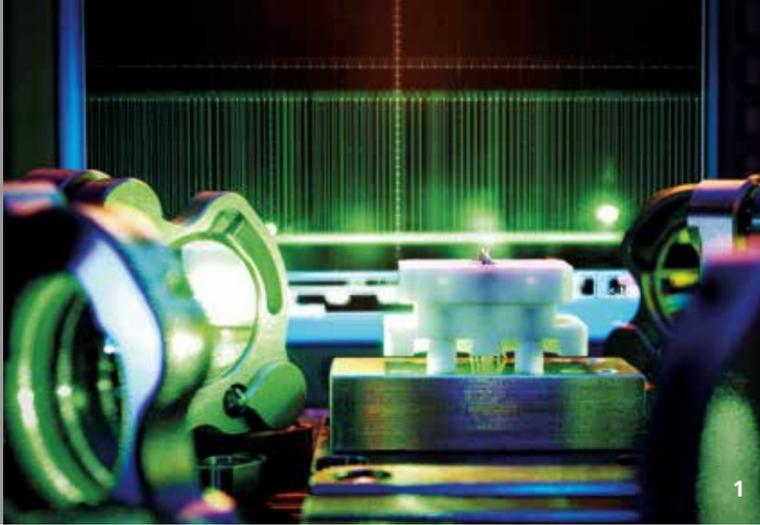
Die Arbeiten werden im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen 50EP160 durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. Jochen Wüppen
Telefon +49 241 8906-8020
jochen.wueppen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Bernd Jungbluth
Telefon +49 241 8906-414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de

3 Technolgie-demonstrator des OPO.



1

PARAMETRISCHE PHOTONEN-QUELLEN FÜR QUANTEN-IMAGING-ANWENDUNGEN

Aufgabenstellung

Im Fokus der sogenannten zweiten Quantenrevolution steht das Erzeugen, Manipulieren und Detektieren isolierter oder gekoppelter exotischer Quantenzustände. In der Grundlagenforschung konnte damit eine Reihe spektakulärer Effekte demonstriert werden, die nun vielfältige Anwendungspotenziale versprechen. Photonische Quantenzustände spielen im Bereich der Quantensensorik und -kommunikation sowie im Quantencomputing eine wichtige Rolle. In dem von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten Leitprojekt »QUILT« entwickelt das Fraunhofer ILT u. a. parametrische Photonquellen für Imaging-Anwendungen im mittleren Infrarot (MIR).

Vorgehensweise

Das Quantenimaging verfolgt das Ziel, nicht-klassische Photonenzustände zu nutzen, um die Grenzen der klassischen Optik zu überwinden. So ist es zum Beispiel möglich, mit verschränkten Photonpaaren Interaktions- und Detektionswellenlänge bei bildgebenden Verfahren zu separieren. Hierbei interagiert ein Photon des verschränkten Paares mit der Probe, während das andere detektiert wird und über die Verschränkung Informationen über die Interaktion seines Partners gibt. Solche Paare verschränkter Photonen können durch parametrische Fluoreszenz in nichtlinearen Kristallen erzeugt werden. Ihre

1 Quelle verschränkter Photonpaare auf Basis parametrischer Fluoreszenz.

Wellenlängen können weitestgehend frei gewählt werden und dabei weit voneinander separiert sein. Hierdurch wird es möglich, hochempfindliche Silizium-Detektion für das Quantenimaging im MIR zu nutzen.

Ergebnis

Am Fraunhofer ILT wurde ein Demonstrator zur Erzeugung verschränkter Photonen auf Basis parametrischer Fluoreszenz konzipiert und aufgebaut. Hierbei werden ein periodisch gepolter Kristall mit einem Halbleiterscheibenlaser bei 532 nm gepumpt und Photonpaare bei etwa 810 und 1550 nm erzeugt. Für Photonpaare konnten Raten von mehr als 10^6 pro Sekunde demonstriert werden. Im nächsten Schritt wird nun das bildgebende Verfahren in einem Interferometer untersucht und auf zukünftige Anwendungspotenziale überprüft. Parallel wird an Quellen mit noch größerem Wellenlängenabstand gearbeitet, um die Bildgebung im MIR zu ermöglichen.

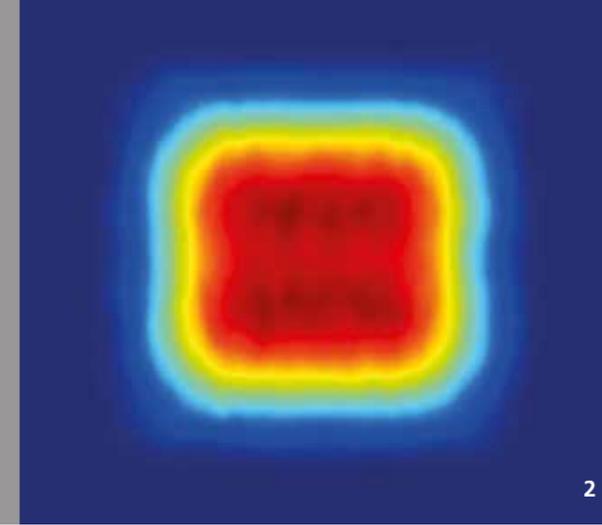
Anwendungsfelder

Neben Quantenimaging-Anwendungen in Biologie und Medizin können mit den demonstrierten Photonquellen auch Anwendungen im Quantencomputing oder der Quantenkommunikation und -sensorik adressiert werden.

Ansprechpartner

Florian Elsen M.Sc.
Telefon +49 241 8906-224
florian.elsen@ilt.fraunhofer.de

Dr. Bernd Jungbluth
Telefon +49 241 8906-414
bernd.jungbluth@ilt.fraunhofer.de



2

AUSLEGUNG VON FREIFORM-OPTIKEN FÜR AUSGEDEHNT LICHQUELLEN

Aufgabenstellung

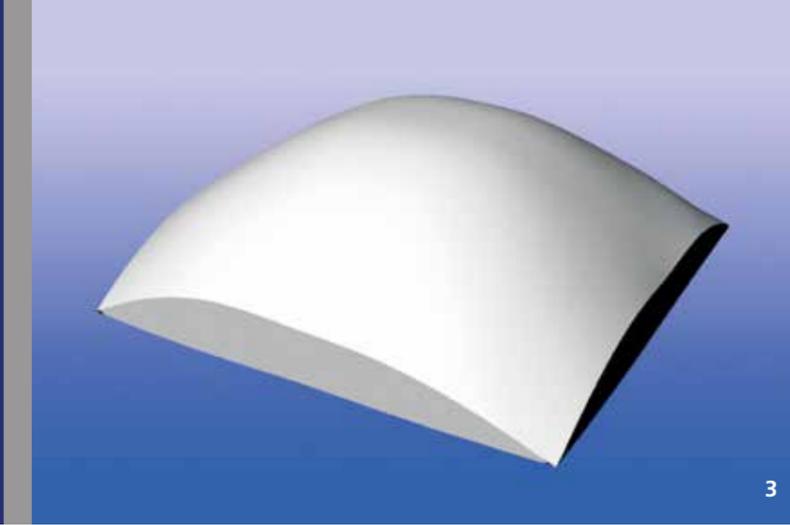
Freiformoptiken ermöglichen die Realisierung angepasster Beleuchtungsstärkeverteilungen für verschiedene Anwendungen. Dazu werden die optischen Oberflächen durch eine Vielzahl von Freiheitsgraden beschrieben und den Vorgaben entsprechend spezifisch angepasst. Während Methoden zur Auslegung von Freiformoptiken für idealisierte Lichtquellen wie Punktquellen oder kollimierte Strahlung Stand der Technik sind, stellt die Übertragung auf reale Lichtquellen eine aktuelle Herausforderung dar.

Vorgehensweise

Zur Auslegung von Freiformoptiken für reale Lichtquellen ist ein Design-Algorithmus implementiert worden, welcher auf einer Beschreibung der Freiformoptiken durch stückweise definierte Polynome (Splines) basiert. Dies wird mit einer schnellen Berechnung der sich ergebenden Beleuchtungsstärkeverteilung und einer mathematischen Optimierung kombiniert. Das entwickelte Programm kann dabei auf einem herkömmlichen PC ausgeführt werden.

Ergebnis

Für verschiedene Anwendungen werden optische Oberflächen in Form von Linsen oder Spiegeln berechnet, wobei verschiedene Lichtquellen wie LEDs oder Diodenlaser angenommen werden können. Insbesondere werden Konfigurationen realisiert, in denen die Idealisierung einer Punktquelle bzw. von kollimierter



3

Strahlung nicht mehr zur Beschreibung der Eingangsstrahlung ausreicht. Die so erzielten Beleuchtungsstärkeverteilungen liegen deutlich näher an den Vorgaben als bei einer Berechnung mittels bisheriger Auslegungsalgorithmen.

Anwendungsfelder

Die implementierte Methode kann in verschiedenen Anwendungen der Beleuchtungstechnik, z. B. in der Automobilbeleuchtung oder der Architektur, eingesetzt werden. Darüber hinaus liegt ein Schwerpunkt der aktuellen Arbeiten im Einsatz von Freiformoptiken zur anwendungsangepassten Strahlformung in der Lasermaterialbearbeitung.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N13476 im Rahmen des Forschungscampus DPP durchgeführt.

Ansprechpartner

Annika Völl M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8369
annika.voell@tos.rwth-aachen.de

Dr. Rolf Wester
Telefon +49 241 8906-401
rolf.wester@ilt.fraunhofer.de

2 Mit einer Freiformoptik simulierte Tophat-Intensitätsverteilung für einen divergenten Diodenlaserstrahl.
3 Freiformoptikdesign für die Allgemeinbeleuchtung mit LEDs.

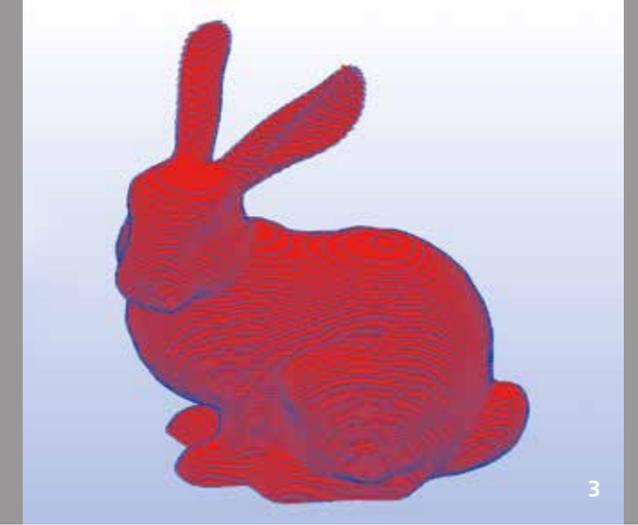
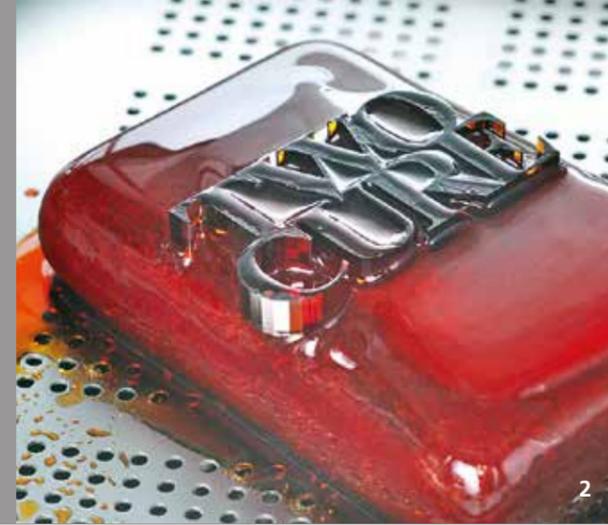
LASERMATERIALBEARBEITUNG



INHALT

Supportfrei Drucken mit »TwoCure«	48	Digitalisierung laserbasierter Fertigungsprozesse für individualisierte Serienbauteile	70
Schnelle Bahngenerierungsalgorithmen für die Additive Fertigung	49	Mikrostrukturierung als Teil der vernetzten adaptiven Prozesskette	71
Gewichtsreduzierung von Luftfahrtkomponenten durch Topologieoptimierung oder Gitterstrukturen	50	Großflächige Mikrostrukturierung durch UV-Laserstrahlung	72
Additive Fertigung von hochleitfähigem Kupfer mittels LPBF	51	Laserstrahl-Wendelbohren von Mikrobohrungen mit großem Aspektverhältnis	73
Skalierbares Maschinenkonzept für das Laser Powder Bed Fusion (LPBF)	52	Delamination und Schmelzauswurf beim Laserbohren von Mehrschichtsystemen	74
Einfluss des Galvanometerscanners auf die LPBF-Prozesszeit	53	Simulations-App für das Bohren mit Laserstrahlung	75
VCSEL-Vorwärmung für das Laser Powder Bed Fusion (LPBF)	54	Farbkodierung durch Mikro- und Nanostrukturen	76
Untersuchungen zur Verwendung von »Low-Cost«-Pulver beim LPBF	55	Glasbearbeitung mit anwendungsspezifischer Strahlform	77
Multiphysikalische Simulation thermooptischer Effekte beim LPBF-Prozess	56	Laser-Impuls-Schmelz-Bonden (LIMBO) mit Strahlquellen im Wellenlängenbereich 515 nm	78
Laserauftragschweißen von nanopartikulär modifizierten Al-Mg-Sc-Zr-Legierungen	57	Laserstrahl-Mikrofügen zylindrischer Batteriezellen	79
Additive Fertigung von nanopartikulär verstärkten Werkstoffen	58	Laserstrahlschweißen von Bipolarplatten	80
Laserauftragschweißen als Methode zum schnellen Legierungsscreening	59	Optisches System für das laserunterstützte FVK-Tape-Legen	81
Lokale Verstärkung von Blechbauteilen durch Additive Fertigung	60	Prozessüberwachung beim laserbasierten Tape-lege-Prozess für FVK-Bauteile	82
Roboterbasierte Hybrid-Additive Fertigung	61	Schneiden von Faserverbundmaterial mit hoher Effizienz und Qualität	83
Erprobung eines Inline-Messsystems zur Abstandsmessung beim Laserauftragschweißen	62	Laserprozesse für die Produktion von Leichtbau-Hybridbauteilen	84
Pulverdüsenmonitor	63	Laser Blanking von flexibel gewalztem Bandmaterial	85
EVEREST – Intelligente Verfahrens- und Systemtechnik für das EHLA-Verfahren	64	Laserstrahlschweißen pressgehärteter Chromstähle mit martensitischem Gefüge	86
Tribologische Beschichtungen für metallische 3D-Komponenten	65	Fugenfolge und adaptive Regelung mittels Echtzeit-Bildverarbeitung	87
Additive Herstellung elektrischer Funktionsschichten in Faserverbundwerkstoffen	66	Deep Learning zur Qualitätsdiagnose bei der Lasermaterialbearbeitung	88
Additive Herstellung individualisierter, bauteilverbundener Dehnungsmessensoren	67	Blockchain – Datenschutz und digitale Transparenz entlang einer Produktionskette	89
Lasermikropolieren additiv gefertigter Metallbauteile	68		
»Quasi-Top-Hat-Scanstrategie« für das Laserpolieren von 3D-gedruckten Kunststoffteilen	69		

*Ultrakurzpuls laser zur Oberflächenstrukturierung:
Leistungsstarke Werkzeuge für die Präzisionsfertigung.*



SUPPORTFREI DRUCKEN MIT »TwoCure«

Aufgabenstellung

Beim harzbasierten 3D-Druck sind in der Regel Stützstrukturen im Druck erforderlich, die Überhänge abstützen und komplexe Bauteile ermöglichen. Zum einen erfordern sie eine Vorbereitung im CAD, zum anderen müssen sie nach dem Druck aufwändig entfernt werden. Sie verursachen dadurch manuelle Arbeitsschritte, vermeidbaren Abfall und eine schlechtere Oberfläche. Bisher waren Stützstrukturen unumgänglich, weil die oft filigranen Kunststoffbauwerke gestützt und an eine Bauplattform angebunden sein müssen.

Vorgehensweise

Das am Fraunhofer ILT entwickelte »TwoCure«-Verfahren arbeitet ähnlich wie die Stereolithographie mit photolithographischer Belichtung, die das schichtweise Aushärten flüssiger Harze bewirkt. Zusätzlich werden die Ausgangsmaterialien unter ihren Glasübergangs- oder Schmelzpunkt gekühlt. Dies wird durch eigens für dieses Verfahren entwickelte Materialien und eine Anpassung des Prozesses ermöglicht.

1 TwoCure-Anlage: gekühlte Prozesskammer mit Dosiereinheit und hochauflöser UV-Projektion (50 µm, 2580 x 1650 Pixel).

2 »Befreien« der Bauteile durch Aufschmelzen des gefrorenen Blocks beim TwoCure-Verfahren.

Ergebnis

Die LED-Belichtungseinheit (UV) projiziert die Schichtgeometrie des Bauteils auf die (noch) flüssige Harzschicht, die an den belichteten Stellen aushärtet. Durch die gekühlte Umgebung (Bauraumwände, Prozessraum und Plattform) werden die umliegenden Harzbereiche durch »Einfrieren« verfestigt.

Auf diese Weise können die ausgehärteten Strukturen supportfrei im gesamten 3D-Bauvolumen »schweben«. Das Aushärten des Bauteils geschieht chemisch per Licht und das Verfestigen des umgebenden Materials thermisch per Kälte. Der Name »TwoCure« spiegelt diese zwei Arten des Härtens wider. Da jeweils vollständig gefrorene Blöcke erzeugt werden, können diese ausgeworfen und anschließend ein neuer Druckjob gestartet werden, sodass die Automatisierung des Prozesses stark vereinfacht wird. Das »Befreien« der Bauteile erfolgt im letzten Schritt durch Abschmelzen des gefrorenen Blocks.

Anwendungsfelder

Die TwoCure-Technologie ist für alle Unternehmen interessant, die individuelle Kunststoffkleinteile in großer Stückzahl oder Kleinserien herstellen. Mit einer TwoCure-Anlage können zukünftig täglich z. B. mehrere 100 individuelle Otoplastiken für Hörgeräte, Formen für die Schmuckherstellung oder Kleinserien für Kunststoffkomponenten automatisiert gefertigt werden.

Ansprechpartner

Dipl.-Chem. Holger Leonards
Telefon +49 241 8906-601
holger.leonards@ilt.fraunhofer.de

Dr. Martin Wehner
Telefon +49 241 8906-202
martin.wehner@ilt.fraunhofer.de

SCHNELLE BAHNGENERIERUNG ALGORITHMEN FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG

Aufgabenstellung

Mit langjähriger Erfahrung im Bereich der CAM-NC Bahnplanung für das Laserauftragschweißen und -abtragen sowie für den 3D-Druck wird am Fraunhofer ILT eine Software entwickelt, mit der Bahnen aus Dreiecksnetzen generiert werden können. Ziel ist eine möglichst hohe Geschwindigkeit bei der Verarbeitung von fein triangulierten Geometrien. Die Algorithmen sollen als Bibliothek bereitgestellt werden, sodass diese von Anwendungsentwicklern einfach in eigene Software eingebunden werden können.

Vorgehensweise

Die Bahngenerierungsalgorithmen werden als Bibliothek mit Anbindungen an die Programmiersprachen C++ und C# aufbereitet. Weitere Programmiersprachen können ergänzt werden. Interne Abläufe der Algorithmen werden für moderne Multi-Core-CPU's optimiert.

Ergebnis

Wesentliche Operationen der Algorithmen sind das Schneiden der Dreiecksnetze in Lagen und die Generierung einer Schraffur sowie Konturfahrten für diese Lagen. Hierbei wird der Ablauf durch Parallelisierung auf Multi-Core-CPU's beschleunigt. Für eine Testgeometrie mit 350 000 Dreiecken dauert die Bahngenerierung mit kommerzieller Software zwischen 6 und 40 Sekunden für eine einheitliche Lagendicke. Mit den neu entwickelten Algorithmen werden die Bahnen auf einem Prozessorkern in 6 s und mit aktivierter Multi-Core-Berechnung auf 16 Prozessorkernen in nur 0,6 s generiert.

Anwendungsfelder

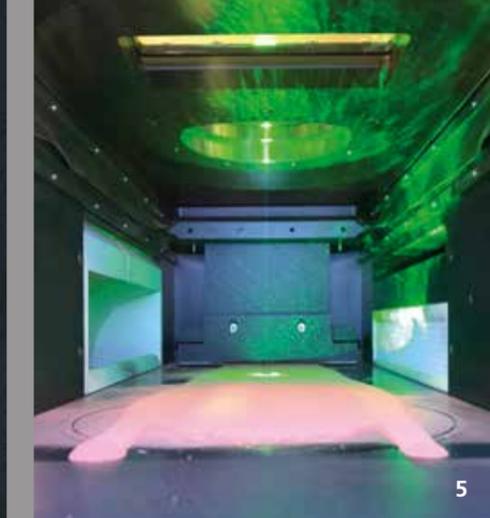
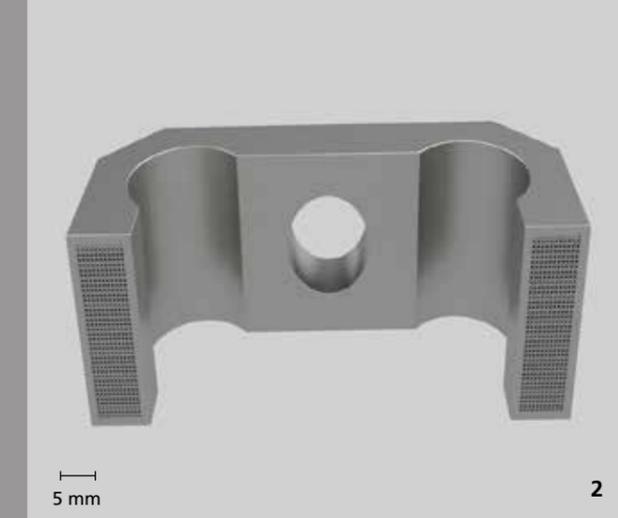
Die Programmbibliothek fungiert beispielsweise beim LPBF-Prozess (Laser Powder Bed Fusion) als schnelle und flexible Alternative zur Bahngenerierung. Eine simple Schnittstelle erleichtert den Zugang für die Integration in Anwendersoftware. In enger Zusammenarbeit mit den Prozessentwicklern werden zukünftig speziell auf den Metalldruck zugeschnittene Algorithmen für die Stützengenerierung ergänzt.

Ansprechpartner

Fabian Drinck M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8037
fabian.drinck@ilt.fraunhofer.de

Dr. Edgar Willenborg
Telefon +49 241 8906-213
edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de

3 Generierte Bahnen für Beispielgeometrie, Konturbahnen (blau) und Schraffurbahnen (rot).



GEWICHTSREDUZIERUNG VON LUFTFAHRTKOMPONENTEN DURCH TOPOLOGIEOPTIMIERUNG ODER GITTERSTRUKTUREN

Aufgabenstellung

Insbesondere für die Luft- und Raumfahrtindustrie ist es von großer Bedeutung, das Gewicht von Bauteilen zu reduzieren, um signifikante ökonomische und ökologische Verbesserungen zu erzielen. Gleichzeitig müssen dabei die extremen Qualitätsanforderungen zum Beispiel bezüglich der mechanischen Eigenschaften eingehalten werden.

Im Rahmen des »EMUSIC«-Projekts wird am Fraunhofer ILT das Thema Gewichtsreduzierung von Luftfahrtkomponenten durch Topologieoptimierung oder Integration von Gitterstrukturen untersucht. Die Fertigung der Bauteile erfolgt mit dem additiven Laserfertigungsverfahren LPBF (Laser Powder Bed Fusion), welches eine große Designfreiheit erlaubt.

Vorgehensweise

Grundlegend für eine Topologieoptimierung ist die am Bauteil angreifende Last, anhand derer man die Kräfteverteilung im Bauteil ermitteln kann. An Stellen mit geringen Kräfteinwirkungen wird weniger Material benötigt. Durch iterative Simulationsschritte wird mithilfe der Software »ABAQUS«

sukzessive Material entfernt, bis nur noch die für die Funktion relevanten Strukturen im Bauteil übrig bleiben. Dabei werden die Designrichtlinien (minimal auflösbare Strukturen oder maximale Überhangwinkel) für den LPBF-Prozess berücksichtigt.

Der zweite Ansatz basiert darauf, die äußere Geometrie des Bauteils unverändert zu lassen aber dafür das Volumen, in dem die Kräfteinwirkungen gering sind, durch Gitterstrukturen zu ersetzen. Mit einem institutseigenen Grasshopper-Plugin wird das CAD-Modell mit einer innenliegenden Gitterstruktur versehen, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Auch dieses Verfahren führt zu einer deutlichen Reduzierung des Bauteilgewichts.

Ergebnis

Es wurden zwei Demonstratoren mit einer Gewichtsreduzierung von jeweils mindestens 30 Prozent gefertigt. Momentan werden diese hinsichtlich ihrer mechanischen Belastbarkeit untersucht und mit herkömmlich gefertigten Bauteilen verglichen.

Anwendungsfelder

Abgesehen von der Luft- und Raumfahrtindustrie sind die vorgestellten Verfahren auch zur Gewichtsreduzierung von Bauteilen aus anderen Branchen geeignet.

Dieses Projekt wurde durch das Forschungs- und Innovationsprogramm »Horizon 2020« der Europäischen Union gefördert (Grant Agreement No. 690725 EMUSIC).

Ansprechpartner

Jonas Zielinski M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8054
jonas.zielinski@ilt.fraunhofer.de

ADDITIVE FERTIGUNG VON HOCHLEITFÄHIGEM KUPFER MITTELS LPBF

Aufgabenstellung

Das Fraunhofer ILT arbeitet derzeit in einem von der AiF (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V.) und dem DVS (Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.) geförderten Vorhaben an der Realisierung einer Prozessführung mit einer im grünen Wellenlängenbereich emittierenden Strahlquelle für die Additive Fertigung mittels LPBF (Laser Powder Bed Fusion). Durch die Verwendung der grünen Laserstrahlquelle wird eine Verarbeitung von reinem und elektrisch hochleitfähigem Kupfer ermöglicht. Im Vergleich zu Kupferlegierungen und anderen Werkstoffen zeichnet sich reines Kupfer durch einen geringen Absorptionsgrad für die herkömmlich verwendete infrarote Wellenlänge aus und stellt aufgrund seiner hohen Wärmeleitfähigkeit und geringen Viskosität der Schmelze eine Herausforderung für eine stabile Prozessführung im Umschmelzprozess LPBF dar. Konventionell verarbeitete Legierungen weisen maximal 80 Prozent der Leitfähigkeit von reinem Kupfer nach Additiver Fertigung auf. Für elektrotechnische Anwendungen ist die Umsetzung der vollen Leitfähigkeit des Werkstoffs Kupfer jedoch notwendig, um effizienzgesteigerte und funktionale Bauteile zu entwickeln und die Vorteile der Additiven Fertigung zu nutzen.

Vorgehensweise

Die zur Verfügung stehenden und im grünen Wellenlängenbereich emittierenden Laserstrahlquellen wurden bezüglich ihrer Eignung für den LPBF-Prozess charakterisiert, bewertet und für eine erste Prozessparameterentwicklung genutzt.

Eine systematische Variation der Verfahrensparameter sowie Anpassungen des Pulverwerkstoffs und der Schutzgasatmosphäre zeigen einen Einfluss auf die relative Werkstoffdichte sowie die erzielten Werkstoffeigenschaften.

Ergebnis

Durch die Variation der Verfahrensparameter wird die Verarbeitung von Reinkupfer mittels LPBF mit einer relativen Werkstoffdichte > 99,8 Prozent erreicht. Durch einen kontrolliert reduzierten Sauerstoffanteil in der Atmosphäre ist es möglich, Materialproben aufzubauen, die die volle spezifische Leitfähigkeit von Reinkupfer in der Höhe von 58 MS/m erreichen. Aktuelle Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich auf die Realisierung einer Prozessführung, die für die Fertigung von Bauteilen geeignet ist.

Anwendungsfelder

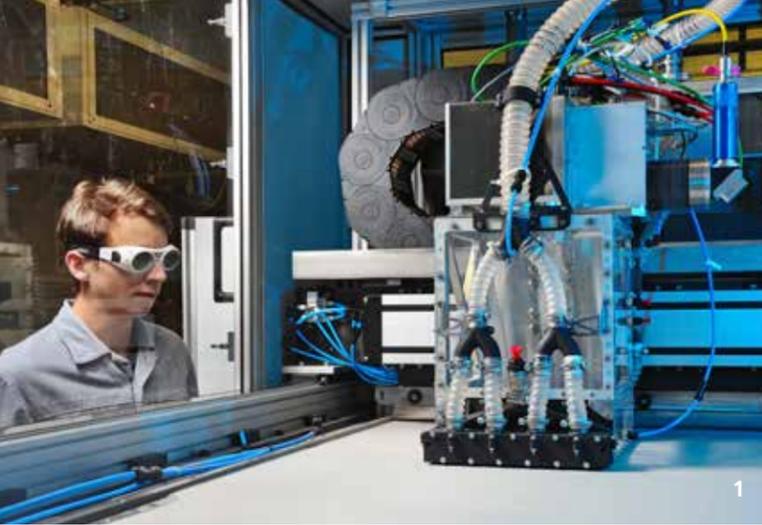
Kupfer und dessen Legierungen finden überwiegend Anwendungen im Bereich Maschinen- und Anlagenbau und in der Elektrotechnik, wo eine hohe elektrische oder auch thermische Leitfähigkeit gefragt ist. Durch die Nutzung der Vorteile einer Additiven Fertigung ergeben sich dadurch neue Möglichkeiten für effizientere bzw. funktionsoptimierte Bauteile.

Ansprechpartner

Daniel Heußen M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8362
daniel.heussen@ilt.fraunhofer.de

1 Topologieoptimiertes Bauteil.
2 Aufgeschnittenes Bauteil mit innenliegenden Gitterstrukturen.

3 Induktionsspule aus Reinkupfer.
4 Schliffbild einer Reinkupferprobe.
5 Prozessbild, LPBF von Kupfer mittels grüner Laserstrahlung.



1



2



3



4

SKALIERBARES MASCHINEN-KONZEPT FÜR DAS LASER POWDER BED FUSION (LPBF)

Aufgabenstellung

Derzeitige konventionelle LPBF-Maschinen sind im Hinblick auf die umsetzbaren Bauraumgrößen beschränkt. Kritisch ist hierbei die Schutzgasführung, die zur Absaugung von Prozessnebenprodukten benötigt wird. Bei zunehmender Bauraumgröße arbeiten bisherige Schutzgassysteme nicht mehr effektiv, wodurch die Bauteilqualität und Prozessstabilität eingeschränkt werden. Im Rahmen des Fraunhofer-Fokusprojekts »futureAM« soll ein skalierbares LPBF-Maschinenkonzept entwickelt werden, mit dem derzeitige Limitierungen der Bauraumgröße aufgehoben werden können.

Vorgehensweise

Das innovative Maschinenkonzept basiert auf einem verfahrenbaren Bearbeitungskopf, der mit einer lokalen Schutzgasabsaugung und einem optischen System (Laserscanner) bestückt ist. Der Bearbeitungskopf ist wesentlich kleiner als der Bauraum und wird mittels Linearachsen über dem Pulverbett positioniert. Das Strömungsfeld des Absaugsystems lässt sich in dem relativ kleinen Bearbeitungskopf wesentlich einfacher einstellen und kontrollieren als bei einer Strömung über das gesamte Pulverbett. So erfordert eine Bauraumvergrößerung keine Anpassung des Schutzgassystems, sondern lediglich größere Verfahrenswege des Achssystems.

1 LPBF-Bearbeitungskopf und Prozess.

2 Bauraum der Prototypmaschine.

Ergebnis

Zur Erprobung des Maschinenkonzepts wurde eine Prototypmaschine entwickelt und aufgebaut, die ein Bauvolumen von 1.000 x 800 x 500 mm³ aufweist. Auf Basis von CFD-Simulationen wurden Komponenten für die lokale Schutzgasführung ausgelegt. Im Hinblick auf die Kopplung von Linearachs- und Laserscannersystem wurden eine Steuerung und Methoden zur Datenvorbereitung für das LPBF mit verfahrenbarem Bearbeitungskopf entwickelt. Anhand von Fertigungsversuchen konnte nachgewiesen werden, dass die Qualität der Schutzgasströmung unabhängig von der Position des Bearbeitungskopfes im Bauraum ist. Zudem wurden Bearbeitungsstrategien für das Kinematikkonzept erarbeitet sowie die erzielbaren Genauigkeiten und Bauteileigenschaften ermittelt.

Anwendungsfelder

Mithilfe der entwickelten Maschinen- und Prozesstechnik können vergleichsweise große LPBF-Bauteile prozesssicher gefertigt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich in die Entwicklung neuartiger kommerzieller Systeme überführen. Die Arbeiten sind im Rahmen des Fraunhofer-Fokusprojekts »futureAM« durchgeführt worden.

Ansprechpartner

Christian Tenbrock M.Sc., M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8350
christian.tenbrock@ilt.fraunhofer.de

Dr. Sebastian Bremen
Telefon +49 241 8906-537
sebastian.bremen@ilt.fraunhofer.de

EINFLUSS DES GALVANOMETERSCANNERS AUF DIE LPBF-PROZESSZEIT

Aufgabenstellung

Beim Laser Powder Bed Fusion (LPBF) werden hochkomplexe Bauteile durch schichtweises Umschmelzen von pulverförmigem Ausgangsmaterial gefertigt. Die Laserstrahlung wird dabei typischerweise über zwei bewegliche Spiegel eines Galvanometerscanners in der XY-Ebene positioniert, um dort selektiv Pulver aufzuschmelzen. Dabei ist bekannt, dass die Nebenzeiten des Scanners (u. a. Sprungzeiten und Schleppverzug der Spiegel) einen Einfluss auf die Prozesszeit haben. Im Rahmen einer Testreihe werden am Fraunhofer ILT verschiedene Typen von Galvanometerscannern und deren Einfluss auf die LPBF-Prozesszeit und Bauteilqualität untersucht.

Vorgehensweise

Für die Untersuchungen werden drei verschiedene Scanner mit unterschiedlicher Apertur (30 mm, 14 mm) und damit Größe und Trägheit der Spiegel sowie verschiedene Regelungstechnik (konstante Regelparameter; dynamische Anpassung der Regelparameter im Prozess) eingesetzt. Mit jedem Scanner werden jeweils identische Testbauteile unterschiedlicher Komplexität mit gleichen Verfahrensparametern aus Edelstahl 1.4404 mittels LPBF gefertigt und quantitativ hinsichtlich der resultierenden Prozesszeiten sowie qualitativ hinsichtlich der Detailauflösung der gefertigten Bauteile untersucht.

Ergebnis

Mit steigender Bauteilkomplexität ergeben sich signifikante Unterschiede in den Prozesszeiten zwischen den Scannern. Während für einfache Würfelgeometrien die Prozesszeitreduktion von 30 mm zu 14 mm Apertur (konstante Regelparameter) bei ca. 5 Prozent liegt, beträgt diese bei einer komplexen, für das LPBF typischen Gitterstruktur bereits 28 Prozent. Bei Verwendung eines Scanners mit 14 mm Apertur und dynamischer Einstellung der Regelparameter kann die Prozesszeit, ausgehend von einem Scanner mit 14 mm Apertur und konstanten Regelparametern, um weitere 20 Prozent reduziert werden. Die gefertigten Probekörper weisen dabei untereinander keine sichtbaren Unterschiede hinsichtlich Detailauflösung oder Oberflächenrauheit auf.

Anwendungsfelder

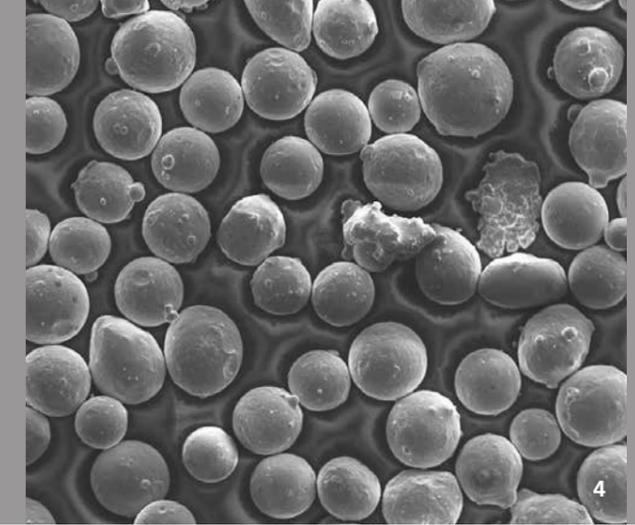
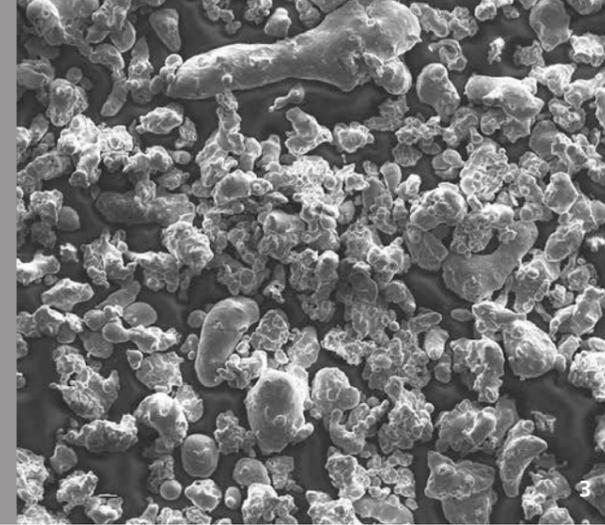
Die gewonnenen Erkenntnisse können bei der Auslegung der optischen Systeme von LPBF-Anlagen genutzt werden und bieten Möglichkeiten zur Optimierung der Regelparameter vorhandener optischer Systeme. In beiden Fällen ergibt sich insbesondere bei komplexen Bauteilen ein großes Potenzial zur Effizienzsteigerung.

Ansprechpartner

Tobias Pichler M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8360
tobias.pichler@ilt.fraunhofer.de

3 Galvanometerscanner »excelliSCAN 14« mit dynamischer Regelung, Quelle: Scanlab GmbH.

4 Mit unterschiedlichen Scannern gefertigte Probekörper.



VCSEL-VORWÄRMUNG FÜR DAS LASER POWDER BED FUSION (LPBF)

Aufgabenstellung

Zur Verarbeitung rissanfälliger Werkstoffe und der Reduzierung von Bauteilverzug wird ein Vorwärmesystem im pulverbettbasierten LPBF-Verfahren eingesetzt. Durch die Vorwärmung werden thermische Gradienten und somit innere Spannungen reduziert. Konventionelle Vorwärmesysteme erwärmen das Substrat. Aufgrund des schichtweisen Aufbaus wächst der Abstand zwischen Substrat und Bearbeitungsebene im Laufe des Prozesses, wodurch die Temperatur in der Bearbeitungsebene abnimmt. Um dies auszugleichen, wird die Substrattemperatur erhöht. Allerdings darf die Schmelztemperatur des Substrats nicht überschritten werden, sodass in letzter Konsequenz die Bauhöhe limitiert ist.

Im Rahmen des Forschungscampus Digital Photonic Production DPP untersucht das Fraunhofer ILT gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS der RWTH Aachen University und Philips Photonics GmbH die Nutzung von Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL) zur direkten Vorwärmung der Bearbeitungsebene.

Vorgehensweise

Kern des verwendeten VCSEL-Moduls mit 808 nm Wellenlänge sind sechs Einzelmitter, welche aus tausenden synchronisierten Mikrodiodenlasern bestehen. Die Laserleistung pro Emitter kann in jeweils zwei Zonen angepasst werden. Diese

1 Belichtung bei lokaler Vorwärmung mittels VCSEL.

2 VCSEL-Modul, Quelle: Philips Photonics GmbH.

individuell ansteuerbaren Emitter mit je 400 W ermöglichen eine angepasste Energieverteilung in der Bearbeitungsebene. Installiert wurde das Modul in eine LPBF-Laboranlage mit induktivem Vorwärmesystem. Durch eine Infrarotkamera kann die Temperatur der Bearbeitungsebene gemessen werden. Mit diesem Aufbau wurden Proben zur Dichte- und Verzugsmessung gefertigt.

Ergebnis

Bei 500 °C Substratplattentemperatur kann die Differenz zwischen Substratplatte und der Bauteiloberfläche von Proben aus Inconel 718 ($\Delta T_{BT,SP} = 100$ °C, Bauhöhe 10 mm) durch das Zuschalten der VCSEL innerhalb von 20 Sekunden ausgeglichen werden. Probekörper aus IN718, die ausschließlich mit dem VCSEL-Modul auf $T = 500$ °C vorgewärmt wurden, erreichen eine Dichte > 99,95 Prozent und weisen gegenüber der Verarbeitung bei Raumtemperatur einen bis zu 2 mm geringen Verzug auf.

Anwendungsfelder

Mit einem auf der VCSEL-Technologie basierenden Vorwärmesystem ist es möglich, unabhängig von der Bauhöhe gleichbleibende Temperaturen in der Bearbeitungsebene zu ermöglichen. Neben einer signifikanten Verzugsreduktion kann dieses System auch eingesetzt werden, um schwer schweißbare Werkstoffe wie zum Beispiel TiAl mit LPBF zu verarbeiten.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N13476 durchgeführt.

Ansprechpartner

Andreas Vogelpoth M.Sc.
Telefon +49 241 8906-365
andreas.vogelpoth@ilt.fraunhofer.de

UNTERSUCHUNGEN ZUR VERWENDUNG VON »LOW-COST«-PULVER BEIM LPBF

Aufgabenstellung

Beim Laser Powder Bed Fusion (LPBF) werden die Bauteile durch schichtweises Umschmelzen von pulverförmigem Ausgangsmaterial hergestellt. Für zukünftige Anlagenkonzepte mit signifikant gesteigerter Produktivität wird auch der Anteil der Pulverkosten an den Bauteilkosten steigen. Deshalb wird untersucht, inwiefern »low-cost«-Pulver im LPBF-Prozess verwendet werden kann. Die Pulvercharakteristika (z. B. Sphärität, Korngrößenverteilung) werden maßgeblich durch das Pulverherstellungsverfahren bestimmt. Standardmäßig wird gasverdüstes Pulver benutzt, da die höhere Sphärität die Verarbeitbarkeit begünstigt.

Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT untersucht die Verarbeitbarkeit von Standardpulver und »low-cost«-Pulver im LPBF-Prozess am Beispiel des Werkstoffs Edelstahl 1.4404. Hierfür werden zwei Pulverchargen (wasserverdüst und gasverdüst) zunächst hinsichtlich der Pulverkenngößen, wie beispielsweise Fließfähigkeit oder Morphologie, analysiert und verglichen. Anschließend werden die Werkstoffe bei gleichen Prozessparametern auf einer kommerziell verfügbaren Anlage verarbeitet und die resultierende Bauteildichte sowie die Oberflächenrauheit der »as built«-Probekörper analysiert. Abschließend werden Zugproben gefertigt und ein Vergleich der beiden Pulvertypen durchgeführt.

Ergebnis

Für beide Ausgangspulver wurde eine erfolgreiche Verarbeitung mit Bauteildichten > 99,5 Prozent gezeigt. Trotz deutlicher Unterschiede der Pulverkenngößen, vor allem bei der Fließfähigkeit, wurde kein Einfluss auf das Prozessfenster, die Prozessstabilität sowie die resultierenden mechanischen Eigenschaften von Zugproben festgestellt. Bei der resultierenden Oberflächenrauheit konnte tendenziell gezeigt werden, dass die Verarbeitung von wasserverdüstem Pulver aufgrund der unterschiedlichen Partikelmorphologie zu einer rauerer Oberfläche führt.

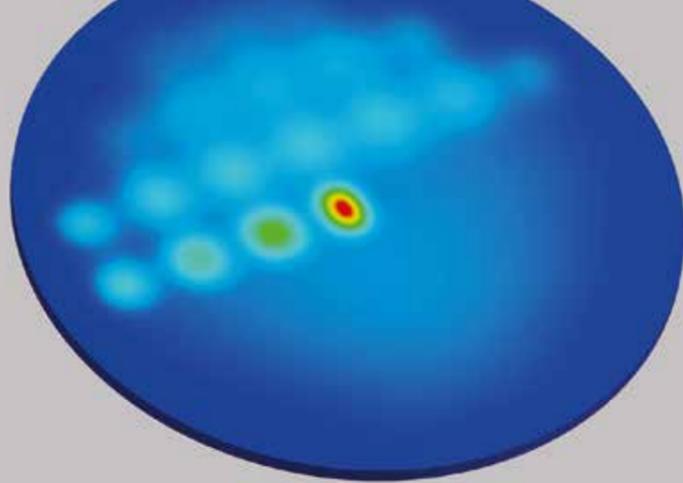
Anwendungsfelder

Die gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass Standardpulver durch »low-cost«-Pulver ersetzt werden kann, ohne dabei einen Nachteil hinsichtlich der resultierenden Kennwerte der Bauteile hinnehmen zu müssen. Für industrielle Anwendungen kann das »low-cost«-Pulver beispielsweise genutzt werden, um Bauteile besonders günstig herzustellen, was vor allem für die Automobilbranche von Interesse ist.

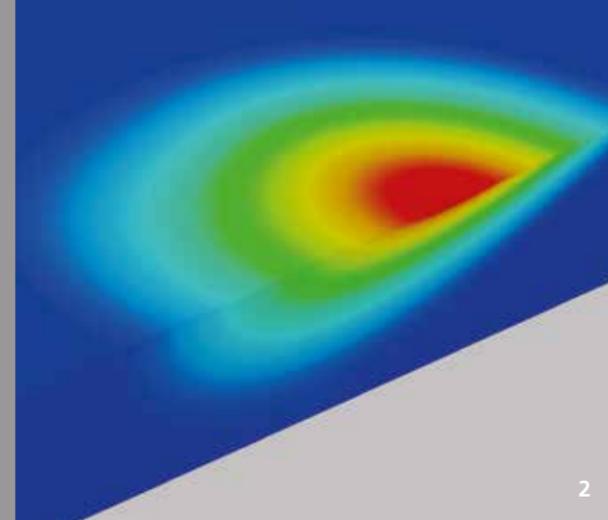
Ansprechpartner

Christian Weiß M.Sc.
Telefon +49 241 8906-608
christian.weiss@ilt.fraunhofer.de

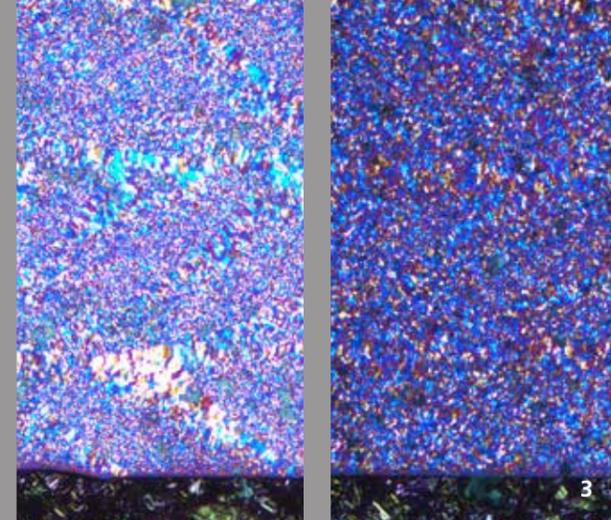
3,4 REM-Aufnahmen von gas- (re.) und wasserverdüstem (li.) Pulver aus Edelstahl 1.4404.



1



2



3



4

MULTIPHYSIKALISCHE SIMULATION THERMO-OPTISCHER EFFEKTE BEIM LPBF-PROZESS

Aufgabenstellung

Beim additiven Fertigungsverfahren Laser Powder Bed Fusion (LPBF) kann je nach Prozess- und Schutzgasführung eine Kontamination des Schutzglases, welches die Optikeinheit von der Baukammer trennt, durch Kondensat und Pulverpartikel auftreten. Dies erhöht den Absorptionsgrad des Schutzglases und induziert thermo-optische Effekte. Als Folge der Erwärmung des Schutzglases verschiebt sich die Fokusslage und die Scanvektoren weichen von den Sollpositionen ab. Dies reduziert die Prozessstabilität sowie die Konturgenauigkeit. Aufgrund der hochdynamischen Prozessführung können die Scanvektoren nicht experimentell erfasst werden. Um die thermischen Einflüsse dennoch evaluieren zu können, werden multiphysikalische Simulationen durchgeführt.

Vorgehensweise

Der Aufbau von Würfelstrukturen wird in einer multiphysikalischen Simulation nachgebildet. Das optische System besteht aus einer variablen Fokussieroptik und einem Galvanometerscanner. Durch eine Kopplung von thermomechanischer Finite-Elemente-Analyse (FEA) und optischer Analyse mittels Ray-Tracing wird der Einfluss der transienten Erwärmung des Schutzglases auf die Fokusslage analysiert. Im Rahmen

1 Mittels FEA berechnete Temperaturverteilung des Schutzglases.

2 Detailsicht der Temperaturverteilung.

der Simulationen wird der Einfluss eines kontaminierten Schutzglases untersucht. Der angenommene Absorptionsgrad beträgt 0,5 Prozent. Außerdem wird der Abstand zwischen Galvanometerscanner und Schutzglas variiert.

Ergebnis

Wird das Schutzglas ca. 40 mm hinter dem Galvanometerscanner platziert, ist die thermisch induzierte Fokusverschiebung mit ungefähr einer Rayleigh-Länge etwa 8-mal größer als bei einer Platzierung auf halber Distanz zwischen Scanner und Pulverbett. Grund hierfür ist, dass im zweiten Fall die thermische Last auf dem Schutzglas räumlich und zeitlich gleichmäßiger verteilt wird als im ersten Fall. Darüber hinaus sagen die Simulationen eine Verschiebung der Scanvektoren vorher. Diese beträgt für Würfel am Rand des Baufelds bis zu sieben Spurabstände. Außerdem verursachen thermo-optische Effekte einen Schrumpf der Würfelgröße um ca. 2 Prozent.

Anwendungsfelder

Die multiphysikalischen Simulationen helfen, den LPBF-Prozess robuster zu gestalten und Scanstrategien hinsichtlich einer Reduzierung thermo-optischer Effekte zu optimieren.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wird unter dem Förderkennzeichen 13N13710 im Rahmen des Forschungscampus »Digital Photonic Production DPP« durchgeführt.

Ansprechpartner

Oskar Hofmann M.Sc.
Telefon +49 241 8906-395
oskar.hofmann@tos.rwth-aachen.de

Dr. Jochen Stollenwerk
Telefon +49 241 8906-411
jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de

LASERAUFTRAGSCHWEIßEN VON NANOPARTIKULÄR MODIFIZIERTEN AL-MG-SC-ZR-LEGIERUNGEN

Aufgabenstellung

Al-Mg-Sc-Zr-Legierungen eignen sich aufgrund ihrer kornfeinenden und ausscheidungshärtenden Eigenschaften und ihren charakteristischen, hohen Abkühlraten gut für die Additive Fertigung. Jedoch ist der Anwendungsbereich dieser Legierungen wegen der hohen Kosten von Scandium limitiert. Ein Lösungsansatz ist die Herstellung eines Aluminiummatrix-Verbundwerkstoffs durch die Zugabe von Keramiknanopartikeln zur Reduzierung des Sc-Anteils. Die Nanopartikel sollen anstelle von Scandium sowohl als Kristallisationskeime für das Aluminiummatrixgefüge dienen als auch die Bewegung der Gitterversetzungen behindern. Ein Teilziel ist die Herstellung eines modifizierten Verbundpulvers mit einer für das Laserauftragschweißen geeigneten Prozessfähigkeit.

Vorgehensweise

Verbundpulver aus TiC-Nanopartikeln und einer Al-Mg-Sc-Zr-Legierung (AA5024) mit einem Sc-Gehalt von 0,4 Gew.-% werden durch mechanisches Legieren unter Variation der Zugabemenge der Nanopartikel und der Mahldauer hergestellt. Bewertungskriterien für das Pulver sind Sphärität, Partikelgröße und Nanopartikelverteilung in der Pulvermischung. Volumenkörper werden durch Laserauftragschweißen hergestellt, um geeignete Prozessfenster zur defektfreien Verarbeitung zu erarbeiten.

Ergebnis

Durch Variation der Menge an Nanopartikeln und der Mahldauer wurden geeignete Verbundpulver für die Verarbeitung mit Laserauftragschweißen hergestellt. Volumenkörper mit einer Dichte von über 99,8 Prozent konnten durch Anpassung der Verfahrensparameter gefertigt werden. Die bei der Additiven Fertigung von Al-Mg-Sc-Zr-Legierungen typische ungleichmäßige Kornstruktur innerhalb des erstarrten Schmelzbads konnte durch die Zugabe von nanopartikulärem TiC beim Laserauftragschweißen deutlich homogenisiert werden.

Anwendungsfelder

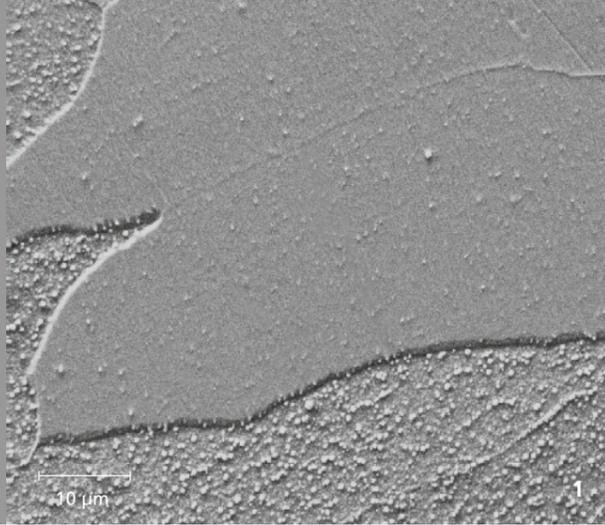
Die defektfreie Additive Fertigung von Al-Mg-Sc-Zr-Legierungen mit TiC-Nanopartikeln kann durch das Laserauftragschweißen realisiert werden. Zukünftige Anwendungsgebiete für das AM sind dort zu sehen, wo komplexes Leichtbaudesign mit hoher mechanischer Festigkeit kombiniert werden muss, wie z. B. in der Luftfahrt und im Automobilbau.

Die Arbeiten wurden im Rahmen eines Sino-German-Research-Projekts unter dem Förderkennzeichen GZ 1217 durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. Andres Gasser
Telefon +49 241 8906-209
andres.gasser@ilt.fraunhofer.de

3 Kornstruktur der Proben ohne (li.) und mit TiC (re.).
4 Volumenkörper aus AA5024 ohne (li.) und mit TiC (re.).



ADDITIVE FERTIGUNG VON NANOPARTIKULÄR VERSTÄRKTEN WERKSTOFFEN

Aufgabenstellung

Nanopartikulär verstärkte Legierungen sind Kompositwerkstoffe, welche aus nanoskaligen, keramischen Partikeln in einer metallischen Matrix bestehen. Durch homogene Verteilung der keramischen Partikel bietet diese Werkstoffklasse, neben hoher Festigkeit und hervorragender Kriechbeständigkeit im Hochtemperaturbereich, erhöhte Beständigkeit gegenüber hochenergetischer Strahlung in Kernreaktoren. In Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung MPIE wird die Prozesstechnik mittels der additiven Fertigungsverfahren Laser Metal Deposition (LMD) und Laser Powder Bed Fusion (LPBF) als Alternative zur pulvermetallurgischen Herstellungsrouten entwickelt.

Vorgehensweise

Auf Basis einer Stahllegierung wird eine Prozesskette bestehend aus einem kurzen Mahlprozess zur Herstellung eines Pulververbunds aus metallischen und keramischen Pulverwerkstoffen (z.B. Y_2O_3 , Ausgangsgröße ca. 45 nm) sowie anschließender endkonturnaher Konsolidierung mittels LMD und LPBF entwickelt.

1 *Fein dispergierte Y_2O_3 -basierte Nanopartikel in einer Stahlmatrix nach Konsolidierung durch LMD, Quelle: ACCESS e.V.*

Ergebnis

Die Prozesszeiten zur Herstellung eines Pulververbunds durch einen Mahlprozess konnten signifikant reduziert werden, sodass ein für additive Fertigungsverfahren nutzbarer Pulverwerkstoff hergestellt werden konnte. Mittels LMD werden dichte Volumenkörper mit homogen dispergierten, keramischen Partikeln mit einem Durchmesser von 50 - 150 nm hergestellt. Die Vergrößerung der Partikel entsteht durch Agglomeration, dennoch steigt die Warmfestigkeit deutlich an. Beim LPBF werden auch Partikel von wenigen Nanometern Größe in homogener Verteilung gefunden, sodass hier neben einer weiteren Steigerung der Festigkeit auch eine erhöhte Strahlungsresistenz zu erwarten ist.

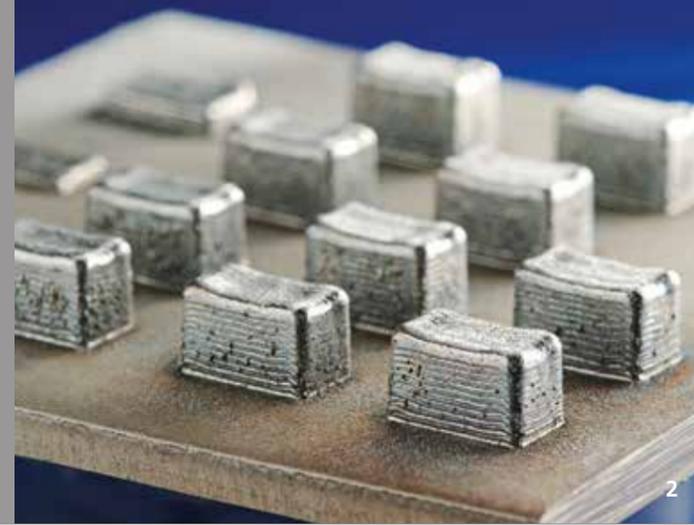
Anwendungsfelder

Das Anwendungsfeld liegt in erster Linie in der Nukleartechnik zur Erhöhung der Strahlungsresistenz, aber auch im Turbomaschinenbau zur Steigerung der Kriechfestigkeit von Turbinenschaufeln bei gleichzeitig guter Korrosionsbeständigkeit. Die Arbeiten werden im Rahmen einer Fraunhofer-Max-Planck-Kooperation gefördert.

Ansprechpartner

Markus Benjamin Wilms M.Sc.
Telefon +49 241 8906-567
markus.benjamin.wilms@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andreas Weisheit
Telefon +49 241 8906-403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de



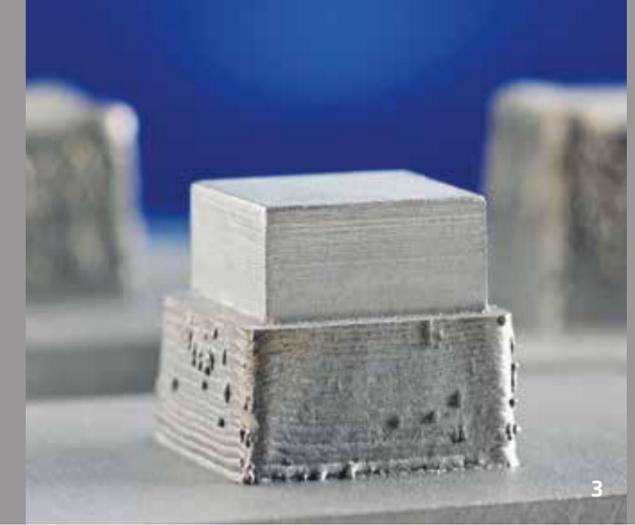
LASERAUFTRAGSCHWEISSEN ALS METHODE ZUM SCHNELLEN LEGIERUNGSSCREENING

Aufgabenstellung

Die Einführung einer neuen Legierung vom ersten Screening bis hin zum fertigen Bauteil dauert heute in der Regel viele Jahre. Der Einsatz von leistungsstarken Softwaretools zur Simulation von Legierungen und deren Eigenschaften konnten den Entwicklungsprozess schon beschleunigen. Die Herstellung von Probekörpern durch Gießen zur Validierung der Simulation ist jedoch immer noch ein zeit- und materialintensiver Posten. Ein additives Verfahren kann hier zu einer wesentlichen Beschleunigung des Screenings bei minimalem Werkstoffeinsatz beitragen.

Vorgehensweise

Mit dem pulverbasierten Laserauftragschweißen (Laser Metal Deposition – LMD) steht ein Werkzeug des Rapid Alloy Development (RAD) zur Verfügung, welches mithilfe von Pulvermischungen die schnelle Herstellung von zahlreichen Legierungen als Volumenkörper erlaubt. Die verschiedenen Legierungsvarianten werden dabei vorab aus Elementpulvern gemischt oder direkt im Prozess über zwei oder mehrere Pulvertöpfe zugeführt. Letzteres erlaubt durch Gradierung auch die Herstellung verschiedener Zusammensetzungen in einem Probekörper. Im Laserstrahl erfolgt das vollständige Aufschmelzen der Pulvermischung, sodass bei der Erstarrung die Legierung entsteht. Innerhalb weniger Stunden können so ca. 20 - 30 kleinere Probekörper (z. B. 10 x 10 x 10 mm³) verschiedener Zusammensetzungen hergestellt werden.



Ergebnis

Für verschiedene Legierungen (u. a. hochentropische Legierungen, Fe-Si, Hochmanganstähle) wurde das Verfahren bereits erfolgreich durchgeführt. Die Probekörper wurden dabei nicht nur einer Gefügeanalyse und Eigenschaftsprüfung, sondern bei Bedarf auch weiteren Prozessschritten wie einer Wärmebehandlung oder Umformprozessen unterzogen.

Anwendungsfelder

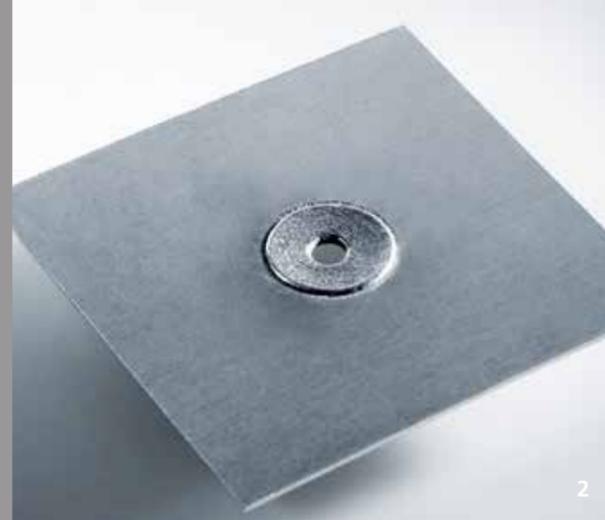
Ein wesentliches Anwendungsgebiet ist die Entwicklung verfahrensangepasster Werkstoffe für die Additive Fertigung. Für diese noch junge Fertigungstechnologie sind bisher nur wenige Werkstoffe qualifiziert. Weitere Anwendungsfelder sind das Screening neuartiger Legierungen (z. B. hochentropische Werkstoffe) für eine erste Eigenschaftsprüfung oder die Entwicklung von Hochleistungswerkstoffen für Turbinenbauteile (z. B. Silizide).

Ansprechpartner

Markus Benjamin Wilms M.Sc.
Telefon +49 241 8906-567
markus.benjamin.wilms@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andreas Weisheit
Telefon +49 241 8906-403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de

2 Mit LMD aufgebaute Probekörper verschiedener Zusammensetzungen.
3 Probekörper für Druckversuch (teilweise mechanisch nachbearbeitet).



LOKALE VERSTÄRKUNG VON BLECHBAUTEILEN DURCH ADDITIVE FERTIGUNG

Aufgabenstellung

Belastungsangepasste Blechbauteile werden heute vielfach aus Tailored Blanks gefertigt. Bei kleineren Serien bietet sich eine frei gestaltbare, additiv aufgebrachte Verstärkung, die eine vollflächige metallurgische Verbindung zum Grundblech aufweist, als Alternative an. Durch die Kombination von Blechumformung und Additiver Fertigung lassen sich so belastungsangepasste Varianten auf Basis von Serienbauteilen ohne Modifikation oder Neufertigung von Umformwerkzeugen herstellen. Das Verfahren kann vor oder nach der Umformung eingesetzt werden. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Konstruktion und Fertigung der BTU Cottbus-Senftenberg werden Verfahrensgrundlagen zur lokalen Blechdickenverstärkung erarbeitet.

Vorgehensweise

Die optimale Form einer Verstärkungsstruktur (Patch) kann durch Simulation des Lastfalls bestimmt werden. Mittels Laserauftragschweißen (Laser Metal Deposition – LMD) erfolgt dann die lokale Fertigung oder Aufbringung des Patches auf artgleichem oder artähnlichem Werkstoff. Das Verfahren wird hinsichtlich hoher Auftragsraten und minimalem Verzug

angepasst. Die Patches werden im Hinblick auf mechanische Eigenschaften und Umformbarkeit untersucht. Die zu untersuchenden Werkstoffe sind Stahl (ZE630) und Aluminium (Al6016) mit Blechdicken von 2 bzw. 1 mm.

Ergebnis

Durch Kühlung und Einspannung der Bleche kann der Verzug minimiert werden. Für die Umformung ist eine Nacharbeit der aufgetragenen Patches nicht erforderlich. An einfachen Probekörpern wird die Steifigkeitserhöhung nachgewiesen. Anhand von Demonstratorbauteilen (Getriebegehäuse aus Stahl und Kragenzug aus Aluminium) wird die Übertragbarkeit auf reale Bauteile überprüft.

Anwendungsfelder

Die aus dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse können für zukünftige Anwendungen in der Automobilindustrie, aber auch in der Luft- und Raumfahrt genutzt werden.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi bei der AiF unter dem Förderkennzeichen 1929BG durchgeführt.

Ansprechpartner

Rebar Hama-Saleh M.Sc.
Telefon +49 241 8906-626
rebar.hama-saleh@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andreas Weisheit
Telefon +49 241 8906-403
andreas.weisheit@ilt.fraunhofer.de

1 Verstärkung eines Kragenzugs aus Aluminium mittels LMD.

2 Verstärkter Kragenzug vor der Umformung.

ROBOTERBASIERTE HYBRID-ADDITIVE FERTIGUNG

Aufgabenstellung

Für eine ressourcen- und kosteneffiziente Produktion der Zukunft bei gleichzeitig steigender Komplexität werden neue Ansätze benötigt. Ein vielversprechendes Konzept ist die Kombination von konventionellen und additiven Verfahren. Diese sogenannte Hybrid-Additive Fertigung soll zukünftig als kostengünstiges, flexibles und hochwertiges Verfahren qualifiziert werden. Um einen ökonomischen Einsatz zu ermöglichen, werden im BMBF-geförderten Projekt »ProLMD« geeignete Prozesse sowie roboterbasierte Systemtechnik- und Softwarelösungen entwickelt.

Vorgehensweise

Das Laserauftragschweißen (LA) ist aufgrund seiner geometrischen Flexibilität und seiner großen Bandbreite an nutzbaren Legierungen ein geeignetes Verfahren für die Hybrid-Additive Fertigung. Im ProLMD-Projekt werden LA-Prozesse mit gesteigerten Auftragsraten bis 2 kg/h und Zusatzwerkstoffen in Draht- und Pulverform sowie die lokale Funktionalisierung konventionell hergestellter Bauteile untersucht.

Durch den Einsatz von roboterintegrierter, geometrischer Messtechnik soll eine präzise adaptive Bahnplanung für den Auftragsprozess umgesetzt werden. Hierfür werden innovative Schutzgaslösungen zur Einhausung des Bauteils sowie ein neuartiger Bearbeitungskopf für das Laserauftragschweißen entwickelt. Die Erprobung des Verfahrens erfolgt an Werkstoffen wie Eisen- und Nickelbasiswerkstoffe sowie Titanlegierungen.

Ergebnis

Das roboterintegrierte Linienscannen zur Digitalisierung und Qualitätssicherung konnte erfolgreich demonstriert werden. Nach Untersuchungen zur Bahngenauigkeit verschiedener Roboterkonfigurationen wurde mit einer geeigneten Variante eine flexible Schutzgaszelle aufgebaut und erprobt. Materialproben mit Aufbauraten bis 1,5 kg/h werden am Fraunhofer ILT bereits hergestellt und geprüft. Eine angepasste CAM-Lösung zur adaptiven Bahngenerierung befindet sich derzeit in der Entwicklung.

Anwendungsfelder

Die Verfahren zur Hybrid-Additiven Fertigung wurden für Anwendungen aus der Luftfahrt sowie für den Werkzeug- und Turbomaschinenbau untersucht, sind aber auch für viele Anwendungen in der Produktion einsetzbar.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wird im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF im Programm »Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen« durchgeführt.

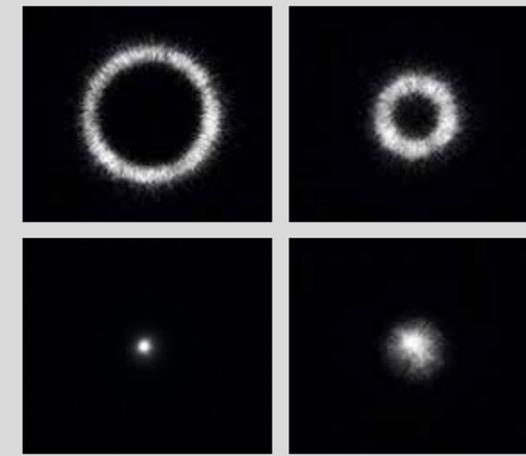
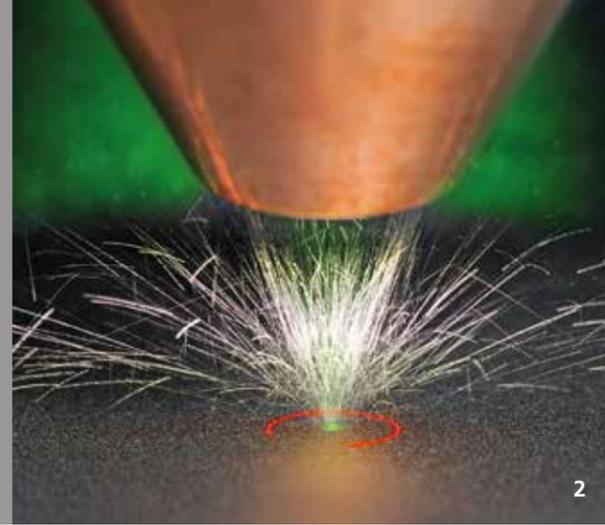
Ansprechpartner

Jan Bremer M.Sc.
Telefon +49 241 8906-356
jan.bremer@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andres Gasser
Telefon +49 241 8906-209
andres.gasser@ilt.fraunhofer.de

3 Roboter-Versuchszelle mit ProLMD-Bearbeitungskopf.

4 CAD-Modell einer flexiblen Schutzgaszelle.



ERPROBUNG EINES INLINE-MESSSYSTEMS ZUR ABSTANDSMESSUNG BEIM LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

Aufgabenstellung

Die Bestimmung und Einstellung des Arbeitsabstands beim Laserauftragschweißen (LA) erfolgt typischerweise mechanisch mittels Lehren oder Fühlern. Nachteilig an dieser Methode ist ihre eingeschränkte Anwendbarkeit. Sie kann nur bei guter Zugänglichkeit und nicht während des LA-Prozesses eingesetzt werden. Mit dem neu entwickelten koaxialen Inline-Messsystem soll erprobt werden, ob während des Prozesses der Abstand zur Oberfläche erfasst werden kann.

Vorgehensweise

Die Abstandserfassung besteht aus einem koaxial durch den Bearbeitungskopf geführten interferometrischen Lasermesssystem. Der Messstrahl wird durch einen rotierenden Spiegel als Ellipse um den Bearbeitungspunkt abgebildet (Bild 2, rote Bahn). Dadurch kann der Abstand zur Oberfläche an allen Punkten der Ellipsenbahn ermittelt werden.

Ziel ist die Ermittlung der Robustheit des Messsystems gegenüber Störungen durch den Laserauftragschweißprozess. Dazu wurden die Beeinträchtigung der Messung durch das injizierte Metallpulver und die Prozessstrahlung untersucht. Anschließend wurde in einem Laborversuch eine Abstandsregelung an einer LA-Roboteranlage implementiert und an einem Demonstratorbauteil erprobt (Bild 1).

1 LA-Prozess mit Abstandsregelung.

2 Projizierte Ellipse des Messstrahls um den Prozesspunkt.

Ergebnis

Das Inline-Messsystem erweist sich als tolerant gegenüber Störungen durch den LA-Prozess. Bei Pulverfördererraten von bis zu 100 g/min für z. B. IN718-Pulver ist eine Abstandsbestimmung noch möglich. Eine Spurgeometrievermessung konnte offline und die Abstandsregelung online während eines LA-Prozesses mit 750 W Laserleistung erfolgreich im Labor am Demonstratorbauteil durchgeführt werden. Die Kontrollmessung der Regelung ergab eine Abstandsabweichung von $\pm 0,1$ mm, welche für den LA-Prozess ausreichend genau ist.

Anwendungsfelder

Da der Abstand entlang einer Kontur und nicht nur an einem einzelnen Punkt gemessen wird, kann online während des Prozesses die Oberfläche um den Prozesspunkt gescannt werden. So können gleichzeitig der Abstand vor dem Prozesspunkt wie auch die erzielte Spurhöhe gemessen werden. Auf Basis dieser Daten kann z. B. eine Regelung der Schichtdicke aufgebaut werden. Besondere Vorteile ergeben sich bei unzugänglichen Bereichen, abstandssensitiven Prozessen und Bauteilen mit Abweichungen von der Sollgeometrie (CAD-Daten).

Dieses Projekt wurde im Rahmen des internen MEF-Programms der Fraunhofer-Gesellschaft gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Jochen Kittel
Telefon +49 241 8906-136
jochen.kittel@ilt.fraunhofer.de

Dr. Andres Gasser
Telefon +49 241 8906-209
andres.gasser@ilt.fraunhofer.de

PULVERDÜSENMONITOR

Aufgabenstellung

Beim pulverbasierten Laserauftragschweißen spielt die Zufuhr des Zusatzwerkstoffs in das Schmelzbad eine entscheidende Rolle. Sie beeinflusst die Maßgenauigkeit des Auftrags, die Qualität der erzeugten Schichten und Volumina sowie die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Sowohl der Justage- und Verschleißzustand der eingesetzten Pulverzufuhrdüsen als auch die Parameter der Pulverzufuhr wie Partikelgröße des Pulvers, Pulvermassenstrom und Förder- bzw. Schutzgasströme bestimmen die Ausbildung des Pulvergasstrahls. Um eine hohe Prozessqualität zu gewährleisten, besteht die Notwendigkeit, das Werkzeug »Pulvergasstrahl« zu charakterisieren und zu dokumentieren.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wurde ein Verfahren entwickelt, das es erlaubt, auf Basis der Partikeldichteverteilung in einem Pulvergasstrahl Kennzahlen zu seiner Charakterisierung zu berechnen. Zum einen kann die Lage des Pulverfokus relativ zur Düsen Spitze und zum anderen der Durchmesser der Partikelverteilung ermittelt werden. Zur Nutzung des Verfahrens wurde ein System nach industriellen Standards entwickelt, welches es ermöglicht, die Vermessung automatisiert durchzuführen. Die Standardisierung und Automatisierung des Messvorgangs ist die Voraussetzung für die Vergleichbarkeit von charakteristischen Merkmalen der Pulverzufuhr.

Ergebnis

Das Messverfahren eröffnet erstmalig die Möglichkeit, einen Pulvergasstrahl vollständig zu charakterisieren. Dies erlaubt zum einen die Zertifizierung von koaxialen Pulverzufuhrdüsen und zum anderen Untersuchungen zu Einflussgrößen auf den Pulvergasstrahl. Damit wird ein industrietaugliches System zur Vermessung des Werkzeugs »Pulvergasstrahl« zur Verfügung gestellt.

Anwendungsfelder

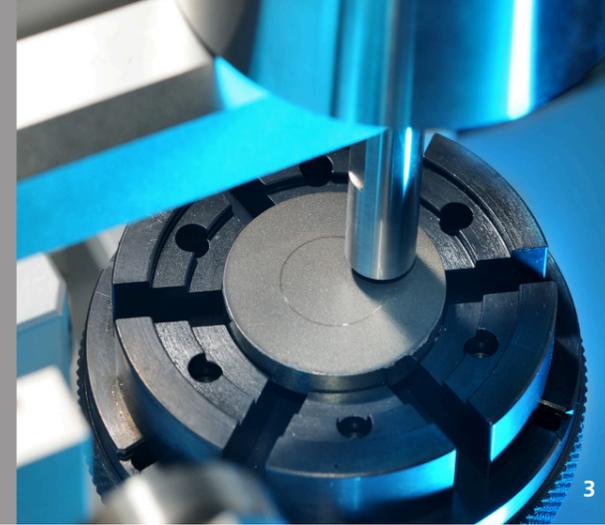
Zu den Anwendungsgebieten zählen alle Aktivitäten im Bereich des Laserauftragschweißens, bei denen genaue Kenntnisse über den Pulvergasstrahl erforderlich sind, wie z. B. bei der Prozess- und Düsenentwicklung sowie der Produktion von Bauteilen.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Stefan Mann
Telefon +49 241 8906-321
stefan.mann@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon +49 241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

3 Partikelverteilung in verschiedenen Abständen zur Düsen Spitze.
4 System zur Vermessung des Werkzeugs »Pulvergasstrahl«.



EVEREST – INTELLIGENTE VERFAHRENS- UND SYSTEMTECHNIK FÜR DAS EHLA-VERFAHREN

Aufgabenstellung

Ziel des Projekts »EVEREST« ist die Entwicklung einer intelligenten Verfahrens- und Systemtechnik für zukünftige Produktionsanlagen zur ressourcenschonenden Beschichtung, Reparatur und hybriden Additiven Fertigung mit dem EHLA-Verfahren (Extremes Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen), einer innovativen Variante des Laserauftragschweißens.

Vorgehensweise

Im Fokus der Arbeiten steht die Entwicklung geeigneter Verfahrensparameter und Beschichtungs- bzw. Aufbaustrategien für die Beschichtung und Reparatur sowie für die hybride Additive Fertigung z. B. von Dichtflächen. Hier werden Schichten mit Dicken von 50 - 300 µm und Prozessgeschwindigkeiten im Bereich von 20 - 200 m/min erprobt. Im Bereich der Systemtechnik werden Hard- und Softwaremodule entwickelt, die einen robusten, wirtschaftlichen und hochflexiblen EHLA-Prozess ermöglichen. Zentrale Module sind hierbei die optische Geometrieerfassung von Bauteil und aufgebracht Schichten, ein CAM-Modul zur adaptiven Bahnplanung sowie ein Modul zur Prozessüberwachung. Das CAM-Modul ermöglicht die intelligente Reaktion auf geometrische Abweichungen vom Soll-Zustand.

1 Kühlwalze (ø = 1830 mm, Länge = 5900 mm),
Quelle: DRINK & SCHLÖSSERS GmbH & Co. KG.

2 Beschichten einer Welle mit EHLA.

Ergebnis

Für das Beschichten wurden zwei korrosionsbeständige Pulver auf Nickel- und Kobaltbasis ausgewählt und entsprechende Verfahrensparameter zur Erzeugung von schmelzmetallurgisch angebondenen, dichten und rissfreien Schichten entwickelt. Für die Anwendungsfälle Reparatur und Additive Fertigung wurden für ein Eisenbasis-Pulver Verfahrensparameter entwickelt, mit denen defektfreie Volumina hergestellt werden können, welche die Anforderungen bezüglich der statisch-mechanischen Eigenschaften erfüllen oder sogar übertreffen.

Anwendungsfelder

Neben der Papier- und chemischen Industrie birgt EHLA das Potenzial, den Herausforderungen diverser Industriebranchen, z. B. im Offshore-Bereich, Automobilbau oder Luft- und Raumfahrt, hinsichtlich Qualität, Zeit und Kosten adäquat zu begegnen.

Dieses Vorhaben wird aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unter dem Förderkennzeichen EFRE-0800790 gefördert.

Ansprechpartner

Gregor Bultel M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8330
gregor.bultel@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Thomas Schopphoven
Telefon +49 241 8906-8107
thomas.schopphoven@ilt.fraunhofer.de

TRIBOLOGISCHE BESCHICHTUNGEN FÜR METALLISCHE 3D-KOMPONENTEN

Aufgabenstellung

Eine Vielzahl von Anwendungen, insbesondere im Maschinen- und Automobilbau, ist durch Reib- und Verschleißbeanspruchung der einzelnen Komponenten geprägt und stellt demnach große Herausforderungen dar. Da konventionelle Beschichtungen auf Basis von Gleitlacken den wachsenden Anforderungen insbesondere bezüglich Temperatur- und Verschleißbeständigkeit oftmals nicht mehr Stand halten, besteht ein Bedarf an innovativen und nachhaltigen Beschichtungskonzepten und -verfahren. Eine Möglichkeit, die Standzeit der Komponenten deutlich zu verlängern und den Wirkungsgrad zu erhöhen, stellen tribologische Beschichtungen dar.

Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT entwickelt in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie (ELB, Arges) ein Laserverfahren und die entsprechende Anlagentechnik zur Beschichtung von 3D-Komponenten aus Leichtmetall. Dabei wird zunächst das Hochleistungspolymer Polyetheretherketon (PEEK) in Pulverform oder als Dispersion mittels Sprüh- oder Druckverfahren auf das Bauteil appliziert. In einem nachfolgenden Verfahrensschritt wird die PEEK-Schicht mittels Laserstrahlung aufgeschmolzen. Durch die zeitlich und örtlich kontrollierbare Energiedeposition ist im Gegensatz zu konventionellen Ofenverfahren keine vollständige Erwärmung des Bauteils auf Temperaturen oberhalb der Schmelztemperatur von PEEK (340 °C) erforderlich. Somit wird die selektive Beschichtung von temperaturempfindlichen Bauteilen möglich.

Ergebnis

Mittels des innovativen Laserverfahrens können dichte und haftfeste PEEK-Beschichtungen auf Aluminiumbauteilen hergestellt werden. In tribologischen Untersuchungen weisen die laserbasiert beschichteten Prüfkörper eine bis zu einem Faktor 50 größere Verschleißbeständigkeit im Vergleich zu konventionellen Gleitlackbeschichtungen auf; es werden Reibungskoeffizienten < 0,1 erzeugt. Zudem kann die für die Funktionalisierung der Schicht erforderliche Energie im Vergleich zu Ofenverfahren um bis zu 90 Prozent reduziert werden.

Anwendungsfelder

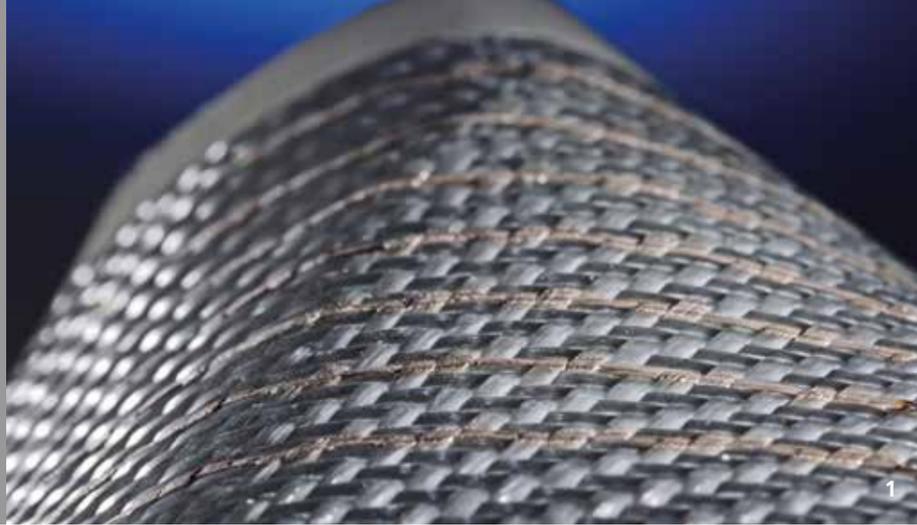
Das entwickelte Verfahren trägt signifikant zur erhöhten prozesseitigen Energieeffizienz sowie zu einer längeren Lebensdauer und Vergrößerung des Wirkungsgrads von tribologisch beanspruchten Komponenten bei. Das potenzielle Anwendungsfeld umfasst primär tribologisch beanspruchte Metallkomponenten im Automobil-, Maschinen- und Anlagenbau (z. B. Kolben oder Lagerschalen).

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben »TriboLas3D« wird im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 01LY1601A-C durchgeführt.

Ansprechpartner

Marius Dahmen M.Sc.
Telefon +49 241 8906-361
marius.dahmen@ilt.fraunhofer.de

3 Tribologische Untersuchung
der beschichteten Prüfkörper.
4 Ortsselektive Laserbearbeitung.



ADDITIVE HERSTELLUNG ELEKTRISCHER FUNKTIONSSCHICHTEN IN FASER-VERBUNDWERKSTOFFEN

Aufgabenstellung

Im Zuge des wachsenden Bedarfs an Faserverbundwerkstoffen (FVK) und der fortschreitenden Funktionsintegration in Bauteile (»Internet of Things«) steigt auch die Nachfrage nach integrierter Sensorik für diese Werkstoffklasse. Bisher wird dies zum Beispiel durch Einlegen von vorgefertigten Sensoren in den Verbundwerkstoff oder durch manuelle Applikation auf fertige Bauteile erreicht. Diese Verfahren stellen aufgrund ihrer schlechten Automatisierbarkeit und negativen Auswirkungen auf mechanische Eigenschaften einen großen Kostenfaktor dar. Zusätzlich müssen kritische Bauteile aufgrund der schlechteren mechanischen Eigenschaften größer dimensioniert werden. Die Integration von Funktionen durch digitale Druck- und Laserverfahren bietet großes Potenzial, die Prozesse durch Automatisierung zu beschleunigen und kostengünstig zu realisieren. Darüber hinaus können so auch neue Funktionen wie z. B. Feuchtigkeitmessung in Produkte integriert werden.

Vorgehensweise

Zur Funktionsintegration in FVK werden Laserverfahren entwickelt, welche in Kombination mit digitalen Druckverfahren (Dispensen und Aerosol Jet) die Herstellung von Sensoren, Heizelementen sowie die dafür benötigten Versorgungsleitungen auf Halbzeugen (Vliese) oder auf vollständigen Bauteilen ermöglichen. Hierzu werden zuerst Vliese mit Funktionspasten

1 Mittels Druck- und Laserverfahren hergestellte Leiterbahnen auf einem Glasfaserhalbzeug.

bedruckt und anschließend mittels Laserstrahlung thermisch nachbehandelt (gehärtet, gesintert etc.). Diese modifizierten Faservliese werden anschließend durch das Fraunhofer IFAM in einen Faserverbund eingebracht. Alternativ oder auch in Kombination wird das fertige Bauteil laservorbehandelt, dann bedruckt und schließlich mit dem Laser nachbehandelt.

Ergebnis

Durch die Kombination digitaler Druck- und Laserverfahren können elektrische Funktionen (Heizen, Messen von Dehnung, Alterung, Signalleitungen etc.) auf und in Faserverbundwerkstoffe appliziert werden. Verglichen mit Ofennachbehandlungsverfahren weisen die so hergestellten Schichten bessere elektrische Eigenschaften bei geringerer thermischer Belastung des Bauteils auf. Die mechanischen Eigenschaften werden durch die Einbringung der elektrischen Funktionsschichten nicht beeinträchtigt.

Anwendungsfelder

Die mittels digitaler Druck- und Laserverfahren hergestellten und integrierten Funktionen können in verschiedenen Anwendungsfeldern (z. B. Automotive, Aerospace) eingesetzt werden. Besondere Relevanz haben die so hergestellten Funktionsschichten für Produkte im Bereich »Internet of Things« und »Structural Health Monitoring«.

Das Projekt »Go Beyond 4.0« wird finanziell durch die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.

Ansprechpartner

Jonas Mertin
Telefon +49 241 8906-8308
jonas.mertin@ilt.fraunhofer.de



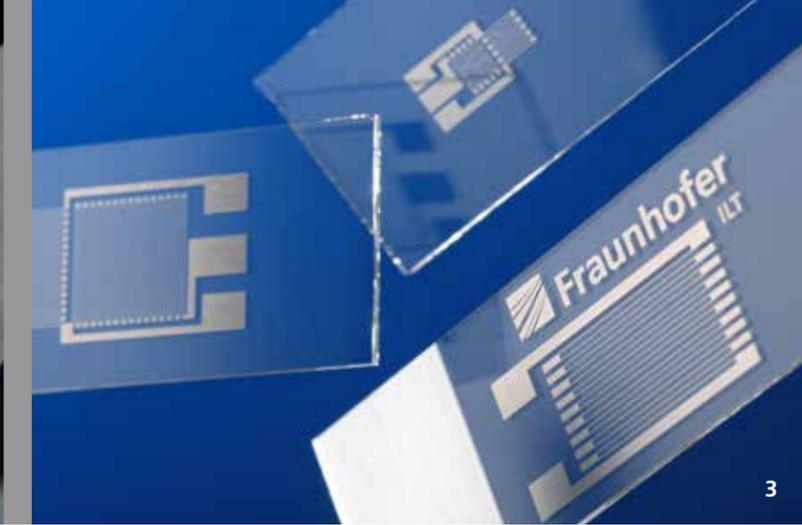
ADDITIVE HERSTELLUNG INDIVIDUALISIERTER, BAUTEILVERBUNDENER DEHNUNGSMESSENSOREN

Aufgabenstellung

Der Bedarf an Sensoren für smarte digitale Lösungen nimmt stetig zu. Autonome Fahrzeuge, Internet der Dinge oder Industrie 4.0 etc. führen zu einer hohen Nachfrage nach intelligenten Sensoren. Preisverfall, erhöhte Anforderungen und zunehmende Konkurrenz erhöhen den Druck auf die Anbieter, sodass neue Marktstrategien erforderlich sind. Konventionelle Dehnmessstreifen (DMS) werden als Massenware hergestellt und auf Bauteile aufgeklebt. Dabei können DMS-Position und Klebefilmdicke variieren, was zu einer Beeinflussung der Messergebnisse führt. Konventionelle DMS-Herstellung ist auf Massenfertigung ausgelegt, sodass individuelle Sensordesigns für spezielle Messaufgaben hohe Kosten erfordern.

Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT entwickelt die additive Herstellung individualisierter, bauteilverbundener Sensoren. Dabei werden die notwendigen Schichten und Strukturen aus unterschiedlichen Materialien nacheinander direkt auf das Bauteil aufgedruckt und anschließend mittels Laserstrahlung funktionalisiert (gesintert, geschmolzen, gehärtet etc.). Bei DMS werden Isolationsschicht, Messgitter und Verkapselungsschicht für Schicht appliziert. Eine vorhergehende Reinigung und Aufräuhung der Oberfläche ist ebenfalls mittels Laserstrahlung möglich. Durch die zeitlich und örtlich kontrollierbare Energiedeposition ist im Gegensatz zu konventionellen thermischen Verfahren



keine vollständige Erwärmung des Bauteils (Ofen) oder die Bestrahlung der gesamten Oberfläche (Blitzlampen) erforderlich. Somit wird die selektive Beschichtung temperaturempfindlicher Bauteile möglich.

Ergebnis

Mittels des innovativen Laserverfahrens können gedruckte Multimaterialschichtsysteme zur Herstellung von Sensoren für die Messung von Dehnungen etc. direkt auf das Bauteil aufgebracht werden. Mithilfe des inlinenfähigen, automatisierbaren Verfahrens können, aufgrund seiner digitalen Natur, individuelle Messgittergeometrien bis zu Losgröße 1 ohne Masken- oder Werkzeugwechsel realisiert werden. Die Beschichtung ist auf Polymeren, Gläsern und auch Metallen möglich.

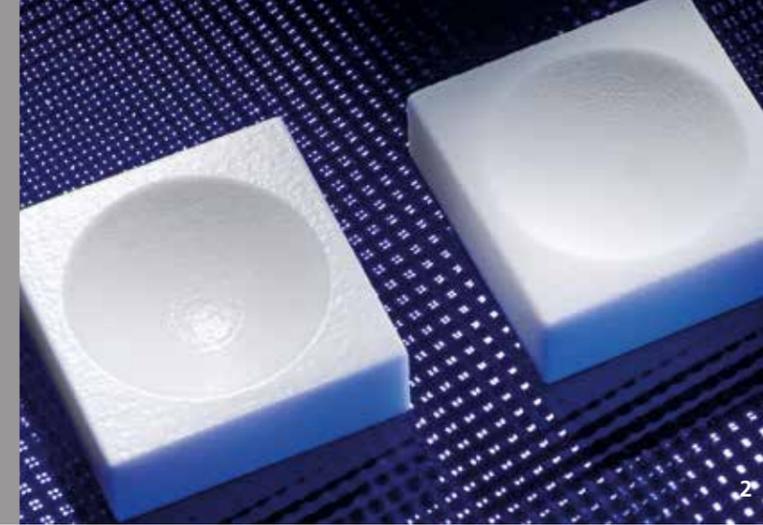
Anwendungsfelder

Dehnungsmesssensoren werden überall dort verwendet, wo Produktionsanlagen und sensible Produkte oder Prozesse vor mechanischer Überbelastung geschützt oder mechanische Belastungszustände gemessen werden sollen. Dabei reicht die Verwendung der ermittelten Daten von der aufwendigen Produktivitäts- oder Qualitätssteigerung der Anlagen über das Planen von Wartungszyklen bis hin zur Überwachung von Belastungsszenarien oder gar einfach nur diskreten Zuständen (an/aus).

Ansprechpartner

Matthias Rehberger M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8300
matthias.rehberger@ilt.fraunhofer.de

2 Gedruckte und laserfunktionalisierte DMS auf Polymerfolien.
3 Gedruckte und laserfunktionalisierte DMS unterschiedlicher Designs.



LASERMIKROPOLIEREN ADDITIV GEFERTIGTER METALLBAUTEILE

Aufgabenstellung

Additiv gefertigte Metallbauteile gewinnen aufgrund vieler Vorteile mehr und mehr an Bedeutung in der industriellen Fertigung. Ein Nachteil ist allerdings die bisher für viele Anwendungen nicht ausreichende Oberflächenqualität, sodass eine Nachbearbeitung der Funktionsflächen erforderlich ist.

Eine mögliche Lösung des Problems stellt das Laserpolieren dar. Bisher wurde das Polieren additiv gefertigter metallischer Oberflächen mit kontinuierlicher Laserstrahlung entwickelt. Dabei wird zwar eine deutliche Reduzierung der Rauheit erreicht, gleichzeitig erfolgt jedoch ein hoher Wärmeeintrag in das Bauteil, sodass (insbesondere bei kleinen Bauteilen oder Leichtbaustrukturen) die Gefahr des Verzugs besteht. Aus diesem Grund wird das Lasermikropolieren mit gepulster Laserstrahlung untersucht, da der Wärmeeintrag bei dieser Verfahrensvariante signifikant geringer ist.

Vorgehensweise

Für die Adaption des Lasermikropolierverfahrens an den Werkstoff und die Oberfläche wird der Einfluss unterschiedlicher Verfahrensparameter auf die Oberflächenrauheit ermittelt. Die Verfahrensparameter werden dabei sukzessive angepasst.

Ergebnis

Die Oberfläche einer mittels LPBF gefertigten Komponente aus TiAl6V4 wird beispielsweise durch die Lasermikropolitur von $R_a = 11,7 \mu\text{m}$ auf $R_a = 0,9 \mu\text{m}$ reduziert. Dabei tritt kein Verzug des Bauteils auf. Die Bearbeitungszeit beträgt nur $5,3 \text{ s/cm}^2$.

Anwendungsfelder

Das Ergebnis kann auf eine Vielzahl weiterer Werkstoffe übertragen werden, wie beispielsweise Stähle oder Nickelbasislegierungen. Außerdem ist das Verfahren nicht auf additiv gefertigte Bauteile beschränkt, sondern kann auch auf anders erzeugten (z. B. MIM, Erodieren) ähnlichen Oberflächen angewendet werden.

Ansprechpartner

Dr. Edgar Willenborg
Telefon +49 241 8906-213
edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de

»QUASI-TOP-HAT- SCANSTRATEGIE« FÜR DAS LASERPOLIEREN VON 3D-GEDRUCKTEN KUNSTSTOFFTEILEN

Aufgabenstellung

Beim Laserpolieren von 3D-gedruckten Kunststoffteilen stellt das Erzielen einer homogenen Glättung der Oberflächenrauheit eine zentrale Herausforderung dar. Durch die geringe Wärmeleitfähigkeit der Kunststoffe kann es bei üblichen Laserpolierstrategien (z. B. Mäander mit fokussierter Laserstrahlung und Scangeschwindigkeiten im Bereich 50 - 200 mm/s) sowohl zu Überhitzungen der Oberfläche als auch zu geringen Existenzdauern des Schmelzbads kommen. Dies führt zu langen Prozesszeiten und hat außerdem einen negativen Einfluss auf die resultierende Rauheit der Oberfläche.

Vorgehensweise

Das Problem wird durch die Erzeugung eines homogenen, konstanten Oberflächentemperaturfelds mithilfe der neu entwickelten »Quasi-Top-Hat-Scanstrategie« und einer Temperaturregelung gelöst.

Bei der Quasi-Top-Hat-Scanstrategie wird die gaußförmige Intensitätsverteilung der üblicherweise verwendeten CO_2 -Laserstrahlung defokussiert und mit hoher Scangeschwindigkeit (5 - 10 m/s) in vielen Überfahrten über die zu polierende Oberfläche geführt. Dabei wird die Oberflächentemperatur mittels Pyrometrie gemessen und die Laserleistung so geregelt,

dass die Temperatur in der Bearbeitungszone für eine bestimmte Dauer konstant bleibt. Flächen zwischen 1 - 1000 mm² können dadurch zusammenhängend aufgeschmolzen und somit laserpoliert werden.

Ergebnis

Auf Flachproben des Materials PA12, die mit dem SLS-Verfahren (Selective Laser Sintering) hergestellt wurden, konnte gezeigt werden, dass ein Schmelzbad der Größe 10 x 10 mm² an der Oberfläche homogen und mit konstanter Temperatur erzeugt werden kann, ohne dass die Probe verformt wird. Die Rauheit kann so stetig ausfließen, bis die gewünschte Glättung erreicht ist. Typische Rauheiten des SLS-Verfahrens von $R_a \approx 10 \mu\text{m}$ können auf $R_a \leq 0,5 \mu\text{m}$ reduziert werden. Mit dem FDM-Verfahren (Fused Deposition Modeling) hergestellte Proben aus PEEK konnten von $R_a \approx 15 \mu\text{m}$ auf $R_a \leq 1 \mu\text{m}$ geglättet werden.

Anwendungsfelder

Das Laserpolieren von 3D-gedruckten Kunststoffteilen kann z. B. in Branchen wie der Automobilindustrie, der Energie- oder Medizintechnik Verwendung finden und stellt dort ein großes Potenzial dar.

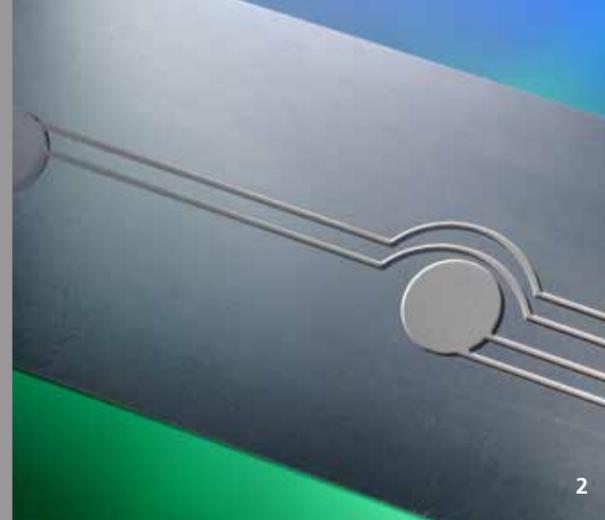
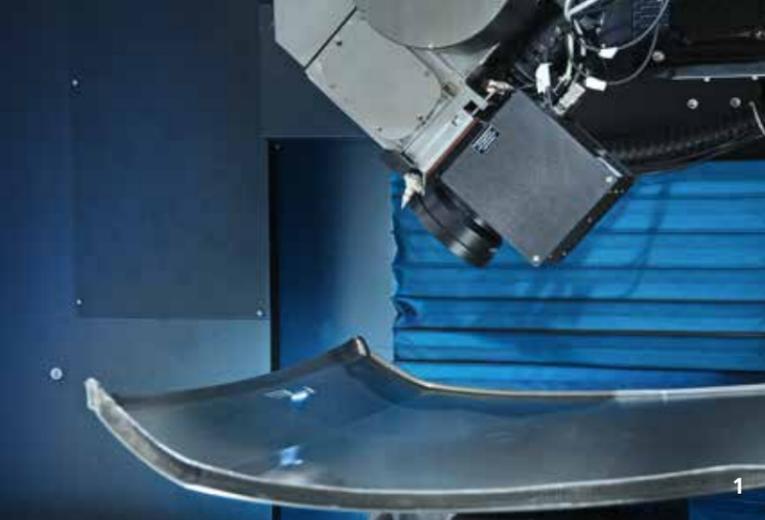
Ansprechpartner

Karsten Braun M.Sc.
Telefon +49 241 8906-645
karsten.braun@ilt.fraunhofer.de

Dr. Edgar Willenborg
Telefon +49 241 8906-213
edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de

1 Selektiv lasermikropolierte Oberfläche.

2 SLS-gefertigtes Bauteil aus PA12, Ausgangszustand (re.), laserpoliert (li.).



DIGITALISIERUNG LASERBASIERTER FERTIGUNGSPROZESSE FÜR INDIVIDUALISIERTE SERIENBAUTEILE

Aufgabenstellung

Industrieübergreifend wächst der Bedarf an innovativen, individualisierten Bauteilen für die Zukunftsmärkte Automotive, Aerospace, Photonics und Manufacturing. Mit dem Leitprojekt »Go Beyond 4.0« wird die Auflösung des Widerspruchs zwischen Produktflexibilität und Wirtschaftlichkeit der entsprechenden Fertigungsprozesse erstmalig in der Größenordnung einer Serienproduktion angestrebt. Hierbei wird mittels Integration digitaler Fertigungsschritte in eine analoge werkzeuggebundene Prozesskette eine hochgradig individuelle Fertigung hochverdichteter Produkte ermöglicht.

Vorgehensweise

Die digitalen Fertigungsschritte werden für unterschiedliche Substrate (Aluminium/Thermoplaste) optimiert und hinsichtlich der Integration in bestehende Prozessketten (Blechumformung/Spritzguss) analysiert. Die zu integrierenden Funktionsbauteile sind neben elektrischen Leiterbahnen gedruckte Piezoelemente als Bedienelemente und hybridintegrierte Piezoelemente zur Verwendung als ultraschallbasierte

- 1 *Strukturierte Autotür mit eingebrachten, individualisierten Funktionselementen.*
2 *Mittels UKP-Laserstrahlung erzeugte Struktur zur Druckvorbereitung.*

Näherungssensoren. Zur Vorbereitung der Integration lassen sich mittels Laserablation ortsgenau Strukturen einbringen, die zur späteren Funktionserweiterung des Bauteils beitragen.

Ergebnis

Durch den Einsatz eines Hochleistungs-UltrakurzpulsLasers (400 W) können Abtragraten von bis zu 100 mm³/min in Aluminium realisiert und so 3D-Oberflächenstrukturen erzeugt werden. Die Bauteiloberfläche wird gleichzeitig für einen nachfolgenden Druckprozess vorbereitet. Somit lassen sich auch in großformatigen Bauteilen wie einer Autotür individualisierte Funktionselemente gezielt einbringen. Der Montageaufwand für Zusatzmodule wie z. B. einen Kabelbaum ist derzeit sehr aufwändig. Der Grad der Funktionsverdichtung bei gleichzeitiger Reduktion der Bauteilkomplexität kann auf diese Weise deutlich erhöht werden.

Anwendungsfelder

Der Trend zur Individualisierung ist brachenübergreifend auf dem Markt zu erkennen. Insbesondere hochtechnologisierte Industriezweige wie die Automobilindustrie, die Luft- und Raumfahrt oder die Beleuchtungsindustrie nehmen hier eine Vorreiterrolle ein und überführen den Gedanken der »Mass Customization« in die industrielle Fertigung.

Dieses Projekt wird finanziell durch die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.

Ansprechpartner

Andreas Brenner M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8365
andreas.brenner@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Martin Reininghaus
Telefon +49 241 8906-627
martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de

MIKROSTRUKTURIERUNG ALS TEIL DER VERNETZTEN ADAPTIVEN PROZESSKETTE

Aufgabenstellung

Die laserbasierte Mikrostrukturierung wird im Rahmen des Leistungszentrums »Vernetzte adaptive Produktion« als letzter Schritt in eine Prozesskette für mit Losgröße 1 gefertigte Werkzeuge für Automobilanwendungen integriert. Dabei wird zwischen zwei Prozessen differenziert: schnellere ns- und präzisere ps-Strukturierung. Anhand wichtiger Kriterien wie Bearbeitungszeit, -kosten und -genauigkeit, Oberflächenrauheit sowie dem aktuellen Maschinenzustand wird noch während der Fertigung entschieden, mit welcher Prozesskombination die besten Ergebnisse erreicht werden können.

Vorgehensweise

Neben vorab bekannten Bearbeitungskriterien sind Echtzeitinformationen über die Maschine und den Prozess von großer Bedeutung für die Fertigung. Im Rahmen des Projekts wird am Fraunhofer ILT ein Multisensorsystem entwickelt, welches die notwendigen Daten erfasst und analysiert, um so die Detektion von Defekten und die darauf basierenden Entscheidungen in Echtzeit zu ermöglichen.

Ergebnis

Die Mikrostrukturierungsanlage wurde mit dem Multisensorsystem und zur Datenerhebung mit einem hybriden FPGA (Field Programmable Gate Array) sowie einem PC-basierten Überwachungssystem ausgestattet. Folgende Daten können so in Echtzeit ermittelt werden:

Maschinenzustandsüberwachung, Datenrate < 1 Hz - 10 kHz

- Temperatur der Maschine und Umgebung
- Vibrationen der Maschine und Umgebung
- Ist-Position der Maschinenachsen
- Laserleistung und Strahlkaustik

Prozessüberwachung, Datenrate 100 kHz

- Ist-Positionen der Scannerachsen
- IR-Prozessemission
- VIS-Prozessemission
- Akustische Emission
- Reflexion der Laserstrahlung

Anwendungsfelder

Neben der Mikrostrukturierung mit Anwendungen in der Automobil- und Beleuchtungsindustrie sowie in der Luft- und Raumfahrt können auf ähnliche Weise andere Fertigungsverfahren in I4.0-Prozessketten integriert werden. Das Echtzeit-Prozessüberwachungssystem eignet sich darüberhinaus auch für andere scannerbasierte Laseranwendungen.

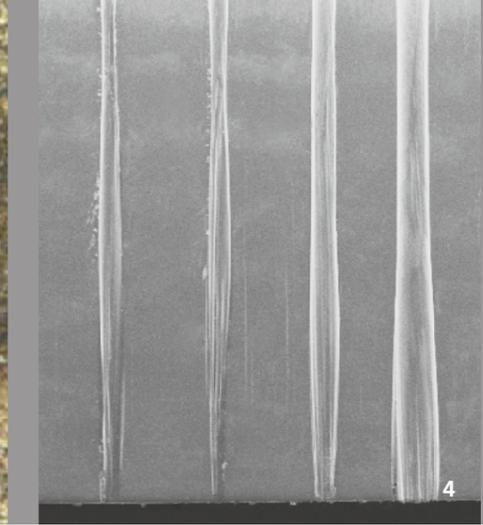
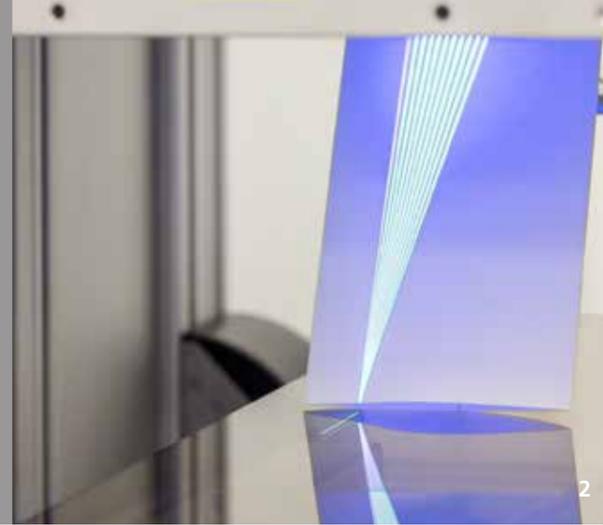
Das Vorhaben wird im Rahmen des Fraunhofer- und NRW-geförderten Projekts »Leistungszentrum Vernetzte adaptive Produktion« durchgeführt.

Ansprechpartner

Milena Zuric M.Sc.
Telefon +49 241 8906-619
milena.zuric@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon +49 241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

- 3 *Multisensorsystem zur Prozessüberwachung.*
4 *Anlage mit integrierter Sensorik und hybrides Auswertesystem.*



GROSSFLÄCHIGE MIKRO-STRUKTURIERUNG DURCH UV-LASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

Der selektive Abtrag und die Modifikation mikro- und nanometerskaliger Schichten mittels UV-Laserstrahlung ist ein etablierter Herstellungsprozess in der Displayproduktion. Die vernachlässigbare thermische Beeinflussung der Bauteile durch die geringe optische Eindringtiefe und kurze Pulsdauer qualifiziert gepulste UV-Excimerlaserstrahlung für die präzise und schonende Funktionalisierung von dünnen Schichten aus leitenden, halbleitenden oder isolierenden Materialien. Um diese Eigenschaften der Bearbeitung auf unterschiedliche Schichtsysteme und eine große Produktpalette zu übertragen, wurde am Fraunhofer ILT in enger Kooperation mit Coherent ein UV-Laserlinienstrahlssystem in Betrieb genommen.

Vorgehensweise

Das Linienstrahlkonzept verzichtet auf bewegliche optische Komponenten wie klassische Scanner und verfügt über gepulste UV-Excimerlaserstrahlung mit einer Wellenlänge von 248 nm und einer Pulsdauer im ns-Bereich. Bei einer mittleren Ausgangsleistung von 150 W werden Pulsenergien von bis zu 1 J erreicht. Damit können bei einem feststehenden Linienfokus von 155 mm Länge Flächenraten von 0,5 m²/min erzielt werden. Die verwendete gepulste Laserstrahlung lässt sich je nach Anwendung mit einer hochauflösenden Masken-

abbildung mit rechteckiger Feldgeometrie kombinieren. Aufgrund der Leistungsdaten und der Kombination der beiden Anlagenkonzepte wird eine ortsselektive Strukturierung mit einer Tiefenauflösung unter 0,1 µm für ein breites Materialspektrum und für eine Vielzahl von Prozessen ermöglicht.

Ergebnis

Mit dem Linienstrahlkonzept konnte bereits ein Verfahren für die großflächige Feinstreinigung von chemisch behandelten Metalloberflächen entwickelt werden. Weiterhin wurde das Anwendungspotenzial der Anlage für die Entschichtung von Kohlefaserbauteilen demonstriert. Dabei wurde der aus Epoxidharz bestehende Matrixkunststoff ortsselektiv abgetragen.

Anwendungsfelder

Mit diesem Laserstrahlssystem wird branchenübergreifend vor allem kleinen und mittleren Unternehmen die technologische Basis zur Entwicklung neuer Produkte mit innovativen Schichtfunktionalitäten zur Verfügung gestellt. Dieser praxisorientierte Ansatz eröffnet einem breiten Anwenderkreis den Zugang zu einem neuartigen, optischen Herstellungsverfahren für die großflächige Bearbeitung von funktionalen Oberflächen.

Ansprechpartner

Matthias Trenn M.Sc.
Telefon +49 241 8906-449
matthias.trenn@ilt.fraunhofer.de

Dr. Christian Hördemann
Telefon +49 241 8906-8013
christian.hoerdemann@ilt.fraunhofer.de

LASERSTRAHL-WENDELBOHREN VON MIKROBOHRUNGEN MIT GROSSEM ASPEKTVERHÄLTNIS

Aufgabenstellung

Das Aspektverhältnis von einer mittels Ultrakurzpulslaser (UKP) gebohrten Präzisionsbohrung mit hoher Rundheit am Ein- und Austritt ist durch unterschiedliche Faktoren begrenzt. Insbesondere sind die verwendete Bohrtechnik bzw. -optik und die verfügbare maximale Pulsenergie der UKP-Laserstrahlung relevant. Das Laserstrahl-Wendelbohren ist eine geeignete Technologie zur Herstellung von Formbohrungen mit großer Präzision, allerdings ist das erzielbare Aspektverhältnis durch die Strahlpropagation im Bohrkanaal auf etwa 20:1 begrenzt. Die Abtragraten nimmt mit steigender Bohrtiefe aufgrund der Strahldivergenz und Mehrfachreflexion stark ab. Daher stellt die Herstellung von Mikrobohrungen mit hohem Aspektverhältnis in dickem Material die Fertigung vor große Herausforderungen.

Vorgehensweise

Mit einer am Fraunhofer ILT entwickelten Wendelbohroptik wurden Untersuchungen in Kombination mit einer ultrakurz gepulsten Laserstrahlquelle mit großer Pulsenergie durchgeführt. Die Laserstrahlquelle hat eine Wellenlänge von 532 nm, eine Pulsdauer von 12 ps und eine maximale Einzelpulsenergie von 650 µJ. Der Fokusbereich beträgt 25 µm. Einfallswinkel, Position und Rotationsgeschwindigkeit der Laserstrahlung werden während des Wendelbohrprozesses dynamisch

angepasst, wodurch der Grad der Mehrfachreflexionen der Laserstrahlung und die zeitliche und örtliche Energiedeposition im Bohrloch gezielt angepasst werden können.

Ergebnis

Die große Einzelpulsenergie führt zu einer hohen Abtragraten. Dadurch wird eine Durchbohrzeit von weniger als 25 s in 3 mm dickem Stahl erreicht. Das Aspektverhältnis ist durch den Durchmesser des Bohrungseintritts und -austritts von ca. 60 µm auf etwa 50:1 begrenzt. Die Rundheit von Ein- und Austritt beträgt > 0,92. Der Längsschliff zeigt, dass Bohrlocher vertikal zur Materialoberfläche mit einem Kantenwinkel von nahezu 90° im Eintrittsbereich realisiert werden können. Die Rauheit R_a an der Bohrlochwand beträgt weniger als 0,5 µm.

Anwendungsfelder

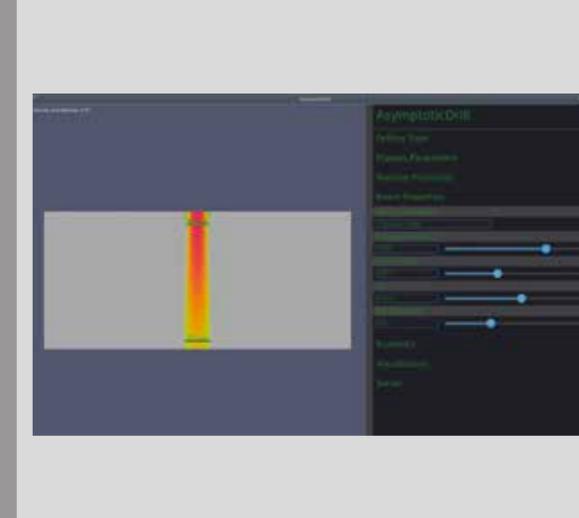
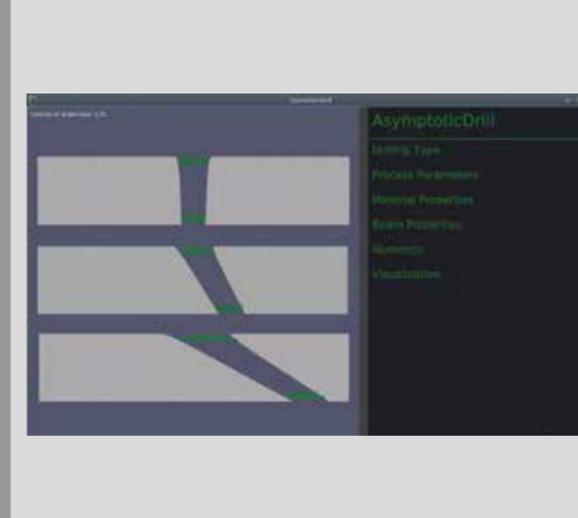
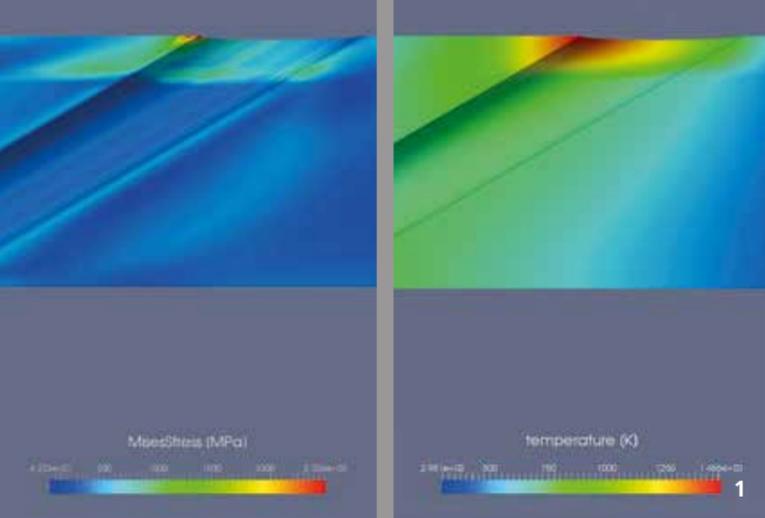
Präzisionsmikrobohrungen mit großem Aspektverhältnis in Stahl, Glas und Keramik können zum Beispiel als Spinddüsen, Einspritzdüsen, Injektoren oder Entlüftungsbohrungen verwendet werden. Zunehmend kommen solche Präzisionsbohrungen auch in der Sensorik und der Filtertechnik zum Einsatz.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Stefan Janssen M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8076
stefan.janssen@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Martin Reininghaus
Telefon +49 241 8906-627
martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de

3 Bohrlocheintritt mit 60 µm Durchmesser.
4 REM-Aufnahme von Bohrungslängsschliffen in 3 mm dickem Edelstahl.



DELAMINATION UND SCHMELZAUSWURF BEIM LASERBOHREN VON MEHRSCICHTSYSTEMEN

Aufgabenstellung

Thermisch hoch beanspruchte Komponenten heutiger Gasturbinen werden aus Wärmedämmschichtsystemen gefertigt. Diese bestehen aus einem hochtemperaturbeständigen Grundwerkstoff, einer Haftvermittlerschicht und einer keramischen Wärmedämmschicht. Bei der Filmkühlung strömt ein Kühlfluid durch die eingebrachten Kühlbohrungen und bildet anschließend einen Kühlfilm auf der vom Heißgas beaufschlagten Seite der Komponente. Werden die Kühlkanäle durch Laserbohren hergestellt, können Delaminationsrisse zwischen den Schichtkomponenten auftreten. Des Weiteren kann ein ausgeprägter Schmelzauswurf am Bohrungseintritt das optische System schädigen. Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabenstellung in der Identifikation von geeigneten Verfahrenseinstellungen zur Optimierung des Bohrprozesses.

Vorgehensweise

Mit Hilfe von reduzierten Modellen werden schnelle Prozesssimulationen entwickelt, welche es ermöglichen, große Bereiche des Parameterraums zu analysieren und auf dieser Grundlage Prozesslandkarten zur Verfahrenseinstellung zu erstellen.

1 Thermomechanische Eigenschaften:

Spannungsverteilung (li.)
und Temperaturverteilung (re.).

2 Drei verschiedene Schmelzauswurf-Moden.

Ergebnis

Zur Beschreibung von Delaminationsrissen wurde das thermomechanische Verhalten des Mehrschichtsystems während der Bohrungsentstehung simuliert (Bild 1). Darauf aufbauend wurde ein reduziertes Modell entwickelt, welches ein Ersatzkriterium für die Rissentstehung liefert. Des Weiteren wurde ein Modell für den Schmelzauswurf am Bohrungseintritt entwickelt. Dabei konnten insbesondere drei unterschiedliche Moden für den Schmelzauswurf identifiziert und experimentell bestätigt werden (Bild 2).

Anwendungsfelder

Neben dem Laserbohren können die entwickelten Modelle auch bei anderen Fertigungsverfahren angewendet werden. Das Ersatzkriterium für Delaminationsrisse kann beispielsweise auf die Rissbildung von additiv gefertigten Komponenten übertragen werden. Das Schmelzauswurfmodell kann z. B. zur Beschreibung der dynamischen Eigenschaften der Absorberschicht beim »Laser Induced Forward Transfer – LIFT«, ein Verfahren zum ortsselektiven Transfer von Biomaterialien und Zellen, erweitert werden.

Ansprechpartner

Dr. Torsten Hermanns
Telefon +49 241 8906-8367
torsten.hermanns@ilt.fraunhofer.de

You Wang M.Sc.
Telefon +49 241 8906-163
you.wang@ilt.fraunhofer.de

SIMULATIONS-APP FÜR DAS BOHREN MIT LASERSTRAHLUNG

Aufgabenstellung

Die am Fraunhofer ILT entwickelte Simulations-App »AsymptoticDRILL« beschreibt asymptotische Bohrformen beim Bohren metallischer Werkstoffe mit langgepulster Laserstrahlung für Rayleighlängen, die deutlich größer sind als die Bohrungstiefe. Da dies jedoch eine relativ starke Einschränkung hinsichtlich der beschreibbaren Bohrungen darstellt, besteht die Aufgabenstellung darin, den Anwendungsbereich von »AsymptoticDRILL« auf Laserstrahlung mit Rayleighlängen kleiner oder gleich der Bohrungstiefe zu erweitern.

Vorgehensweise

Das zugrunde liegende reduzierte Modell für asymptotische Bohrungen wurde um die Beschreibung der Strahlungsabsorption bei beliebiger Propagationsrichtung erweitert. Wie das Ausgangsmodell basiert auch das erweiterte Modell auf Gleichungen, welche die Anwendung von einfachen numerischen Verfahren mit guten Lösungseigenschaften erlauben und auf einer Sekundenskala lösbar sind.

Ergebnis

Die erweiterten Modellgleichungen wurden in die Simulations-App implementiert, so dass mit der neuen Version die Beschreibung asymptotischer Bohrungen auch bei starker Strahldivergenz möglich ist. Letztere kann innerhalb der Benutzeroberfläche mit Hilfe von Schiebern eingestellt werden. Eine starke Strahldivergenz kann insbesondere zu Bohrungen führen, deren Austrittsdurchmesser größer als der Eintrittsdurchmesser ist. Auch die Beschreibung solcher Unterschnitte ist in der neuen Version möglich (Bild 4). Darüber hinaus ermöglicht »AsymptoticDRILL« nun auch die Beschreibung von schräg zur Oberfläche des Werkstücks eingebrachten Bohrungen (Bild 3).

Anwendungsfelder

Das aktuelle Anwendungsfeld ist die Verfahrensentwicklung zur Herstellung von Kühlkanälen in Turbinenkomponenten. Zukünftige ist geplant, »AsymptoticDRILL« auch im Bereich der Sieb- und Filterherstellung sowie bei der Strukturierung von Leichtbaukomponenten einzusetzen.

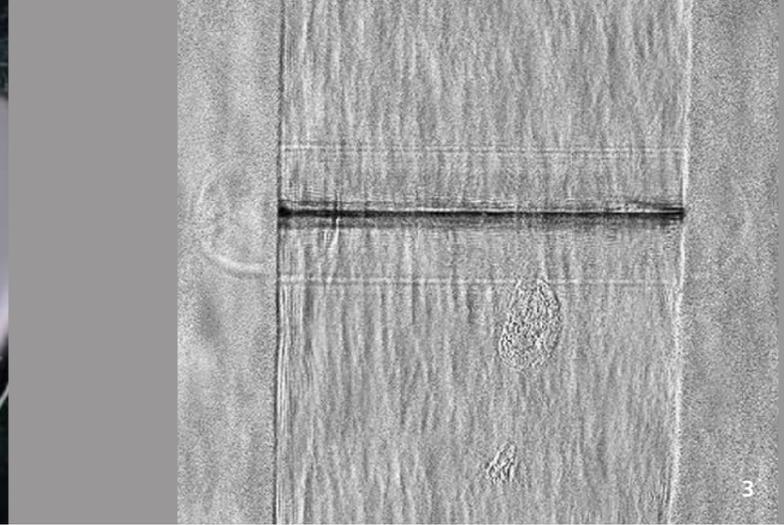
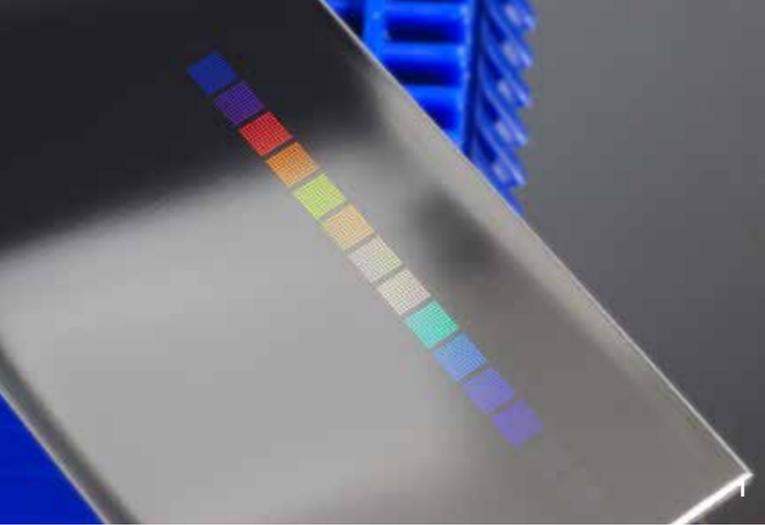
Ansprechpartner

Dr. Torsten Hermanns
Telefon +49 241 8906-8367
torsten.hermanns@ilt.fraunhofer.de

You Wang M.Sc.
Telefon +49 241 8906-163
you.wang@ilt.fraunhofer.de

3 Schräg zur Werkstückoberseite orientierte Bohrung.

4 Unterschnitt und neue Benutzeroberfläche mit Schiebern zur Einstellung der Strahldivergenz.



FARBKODIERUNG DURCH MIKRO- UND NANOSTRUKTUREN

Aufgabenstellung

Das sichtbare Farbspektrum zwischen 400 nm und 800 nm ist ein Ausschnitt aus dem elektromagnetischen Spektrum, dessen einzelne spektrale Komponenten vom menschlichen Auge als Farbe wahrgenommen werden. Trifft das Spektrum einer Lichtquelle auf eine mikro- oder nanostrukturierte Oberfläche, wird es in verschiedene Anteile aufgeteilt, sodass unterschiedliche Farben in Abhängigkeit des Blickwinkels wahrgenommen werden. Mittels ultrakurz gepulster Laserstrahlung können definierte Strukturen auf Oberflächen erzeugt werden, die spezifische Anteile des Farbspektrums reflektieren oder absorbieren. Ziel ist es, ein vordefiniertes farbiges Muster durch einen automatisierten Mikrostrukturierungsprozess auf verschiedenen Werkstoffen zu realisieren.

Vorgehensweise

Mittels »Laser-Interferenz-Strukturierung« oder direkter Strukturierung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung können deterministische und selbstorganisierte statistische Strukturen auf verschiedenen Werkstoffen erzeugt werden. Deterministische Interferenzstrukturen werden durch die Überlagerung von zwei Teilstrahlen auf der Werkstoffoberfläche erzeugt. Das Intensitätsprofil auf der Oberfläche ermöglicht eine linienförmige Strukturierung auf der Werkstoffoberfläche. Durch die Verwendung von ultrakurz gepulster Laserstrahlung können

1 Mittels Interferenzstrukturierung erzeugte Farben.

2 Mikrostrukturierte Metalloberfläche.

Metalle, Kunststoffe oder Halbleitermaterialien bearbeitet werden. Statistische, selbstorganisierende Strukturen resultieren aus einer elektromagnetischen Anregung der Oberfläche durch den Laserpuls. Wellenlängen- und werkstoffabhängig können Strukturgrößen von 500 nm bis 5 µm erzeugt werden. Neben den optischen Eigenschaften lassen sich auch Oberflächeneigenschaften wie Haptik oder Adhäsion durch die Oberflächenstrukturen gezielt beeinflussen.

Ergebnis

Die Interferenzstrukturen können mit Flächenraten von bis zu 60 cm²/min erzeugt werden. Die linienförmige Textur hat eine sinusförmige Topographie und wird automatisiert strukturiert. So lassen sich Abschnitte für Abschnitte unterschiedliche Strukturmuster aufbringen, die unter einem definierten Betrachtungswinkel in einer definierten Farbe oder matt erscheinen. Je nach Anordnung der unterschiedlichen Strukturabschnitte können beliebige farbige Bilder erzeugt werden.

Anwendungsfelder

Im Gegensatz zu Farbpigmenten verblassen Mikrostrukturen nicht, sodass ein langzeitstabiler Farbeffekt entsteht. Neben dekorativen Anwendungen werden die Strukturen zur Erzeugung technischer Oberflächen im medizinischen und biotechnischen Bereich angewendet.

Ansprechpartner

Ludwig Pongratz M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8044
ludwig.pongratz@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Martin Reininghaus
Telefon +49 241 8906-627
martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de

GLASBEARBEITUNG MIT ANWENDUNGSSPEZIFISCHER STRAHLFORM

Aufgabenstellung

Durch die Fortschritte im Rahmen der weltweiten Digitalisierung wächst die Nachfrage nach hoch individualisierten Glasbauteilen in Anwendungsbereichen wie der Unterhaltungselektronik, dem Fahrzeugbau und der Telekommunikation. Konventionelle Verfahren, wie beispielsweise das mechanische Anritzen und Brechen, können die hohen Anforderungen für neuartige Glasbauteile aufgrund mangelnder Flexibilität oder Erzeugung hoher Defektkonzentration ohne aufwändige Nachbearbeitung nicht erfüllen. Hier bietet das Werkzeug »Laser« die Möglichkeit einer kontaktlosen, effizienten sowie hoch flexiblen Bearbeitungstechnologie von Gläsern. Dabei muss die Laserstrahlung für die spezifische Anwendung des Glasbauteils individuell angepasst werden. Am Fraunhofer ILT werden innovative räumliche und zeitliche Strahlformen entwickelt und deren Potenzial für spezifische Anwendungen evaluiert.

Vorgehensweise

Für die Erzeugung von anwendungsspezifischen Modifikationen bei Gläsern muss die Energiedeposition gezielt eingestellt werden können. Dazu müssen die beeinflussenden Faktoren ermittelt werden und deren Abhängigkeit von den verwendeten Laser- und Materialparametern verstanden sein. Mithilfe der »in situ Pump-Probe-Mikroskopie« kann die Energiedeposition im Glasvolumen zeit- und orts aufgelöst dargestellt und analysiert werden. Durch Anpassung der räumlichen und zeitlichen Intensitätsverteilung durch Strahlformung wird die Energiedeposition gezielt für eine spezifische Anwendung eingestellt.

Ergebnis

Die Pump-Probe-Mikroskopie ermöglicht die Entwicklung von verfahrensspezifischen Strahlformen für das Schneiden, Strukturieren und Modifizieren von Oberflächen und Volumenelementen transparenter Werkstoffe. So ist beispielsweise durch Anpassung der räumlichen Strahlform ein Vereinzelungsprozess von großflächigen Gläsern mit Geschwindigkeiten ~ 100 mm/s für Glasstärken ≥ 500 µm entwickelt worden. Dabei weist die Schnittkante eine Oberflächenrauheit $R_a \sim 1 \mu\text{m}$ bei vernachlässigbarer Konizität auf. Durch die Verwendung von Pulsauern im Bereich von ~ 100 fs wird ein selektiver Abtrag der Glasoberfläche realisiert. Durch eine entsprechende Wahl der Intensitäten wird eine Beeinflussung des Glasvolumens nahezu vollständig vermieden.

Anwendungsfelder

Ein Vereinzelungsprozess kann insbesondere für das Schneiden von Displays für die Unterhaltungselektronik eingesetzt werden, da durch Laserabtrag die haptischen Eigenschaften einer Glasoberfläche gezielt eingestellt werden können. Durch das Einbringen von Modifikationen mit Strukturgrößen von ~ 1 µm lassen sich Streustellen erzeugen, die nur unter einem definierten Beleuchtungswinkel sichtbar sind. Die Modifikationen können als Streustellen zur Beleuchtung von funktionalen Displayelementen genutzt werden.

Ansprechpartner

Christian Kalupka M.Sc.
Telefon +49 241 8906-276
christian.kalupka@ilt.fraunhofer.de

3 Lasergeschnittenes und -strukturiertes Glasbauteil.
4 Zeitaufgelöste Aufnahme der Energiedeposition in Glas.



LASER-IMPULS-SCHMELZBONDEN (LIMBO) MIT STRAHLSQUELLEN IM WELLENLÄNGENBEREICH 515 NM

Aufgabenstellung

Durch steigende Anforderungen in der Hochleistungselektronik und Elektromobilität werden zunehmend Leistungselektronikbauteile benötigt, die eine hohe Robustheit und thermische Stabilität aufweisen. Das »Laser-Impuls-Schmelzbonden (LIMBO)« ermöglicht eine stoffschlüssige und somit hochtemperaturstabile Fügeverbindung zwischen dicken Kupferverbindern über 200 µm und dünnen Kupfermetallisierungen unter 100 µm auf sensiblen Substraten. Der Schmelzvorgang des Kupferwerkstoffs stellt jedoch aufgrund des geringen Absorptionsgrads für Laserstrahlung im IR-Bereich eine Herausforderung dar.

Vorgehensweise

Das Absorptionsverhalten des Kupferwerkstoffs im Schweißprozess wird durch die Verwendung einer Laserstrahlquelle im grünen Bereich ($\lambda = 515 \text{ nm}$) im Vergleich zu Laserstrahlquellen im IR-Bereich begünstigt. Die erhöhte Absorption der Laserstrahlung führt zur gezielten Kontrolle über die Energieeinbringung und ermöglicht somit die Steigerung

der Reproduzierbarkeit und Robustheit während des Aufschmelzens des Kupferverbinders. Mit dem LIMBO-Verfahren wird eine energetische Trennung zwischen dem Aufschmelzen und der Anbindung realisiert, womit der thermische Einfluss auf sensible Substrate deutlich minimiert wird.

Ergebnis

Mit dem Prozess sind Schweißungen von 200 µm Kupferblechen auf kupfermetallisierten PCB-Substraten mit einer reproduzierbaren Anbindung möglich. Im Vergleich zu IR-Laserstrahlquellen wird die Prozessdauer mit Strahlquellen im Wellenlängenbereich 515 nm aufgrund der erhöhten Absorption und der gezielten Energieeinbringung beim LIMBO-Prozess um den Faktor drei reduziert.

Anwendungsfelder

In der Halbleitertechnik (siliziumbasierte Bauteile) oder der Elektrotechnik (FR4) kann mithilfe des LIMBO-Verfahrens das Fügen von dicken Verbindern auf sensible Substrate mit dünnen Metallisierungen realisiert werden. Darüber hinaus ist das Verfahren für stoffschlüssiges Fügen von metallischen Bauteilen mit hohen Spalttoleranzen anwendbar.

Ansprechpartner

Woo-Sik Chung M.Sc.
Telefon +49 241 8906-322
woo-sik.chung@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

LASERSTRAHL-MIKROFÜGEN ZYLINDRISCHER BATTERIEZELLEN

Aufgabenstellung

Der zunehmende Druck auf Städte, die Abgasbelastung zu reduzieren, erhöht den Bedarf an alternativen Antriebskonzepten für Automobile. Elektromobilität ist ein Ansatz, der jedoch noch teuer und nicht leistungsfähig genug ist. Als zentrale und kostenverursachende Komponente von Elektroautos steht die Batteriezelle und deren Verschaltung zu Batteriesystemen im Fokus der Forschung. Für die elektrische Kontaktierung von einzelnen Batteriezellen, wie z. B. Rundzellen vom Typ 18650 oder 21700, werden Fügeverfahren mit hohem Automatisierungsgrad und geringer Prozesszeit benötigt. An dieser Stelle bietet der Einsatz von brillanten Laserstrahlquellen zum Schweißen von Zellen an Zellverbindern neue hochautomatisierte Fertigungslösungen.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT werden im Projekt »OPTEMUS« Kerntechnologien für Batteriemodule der Elektromobilität entwickelt, um die Fertigungskosten zu reduzieren und gleichzeitig die Leistungsfähigkeit zu erhöhen. Ein Teilprojekt befasst sich mit der Entwicklung eines Batteriemoduls, welches neben der elektrischen auch thermische Energie speichern und bereitstellen kann. Am Fraunhofer ILT wird hierfür eine laserbasierte Fügetechnik für die Kontaktierung der Batteriezellen mit minimaler Energieeinbringung und Bauteilbelastung entwickelt.

Ergebnis

Das Batteriemodul besteht aus 144 Rundzellen vom Typ 18650 mit 12 parallelen und 12 seriellen Ebenen. Die Zellen sind am negativen Pol mit einem 0,2 mm dicken Blech (CuSn6) verschweißt. Dafür wird ein Singlemode-Faserlaser in Kombination mit einer örtlichen Leistungsmodulation eingesetzt. Dabei wird die Vorschubbewegung mit einer kreisförmigen Oszillationsbewegung überlagert, sodass die Schweißnahtgeometrie bedarfsgerecht angepasst werden kann. Der positive Pol der Batteriezellen wird mittels Laserbonds (Laserstrahlschweißen mit automatischer Bändchenzuführung) auf einer Sammelschiene kontaktiert.

Anwendungsfelder

Das Laserstrahl-Mikrofügen ist für die Kontaktierung verschiedener Batterieformate (Pouch, prismatisch und rund) geeignet. Die Vorteile liegen in der geringen und kontrollierten Energieeinbringung in die thermisch empfindlichen Batteriezellen sowie dem hohen Automatisierungsgrad des Verfahrens.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts »OPTEMUS« unter dem Förderkennzeichen 653288 durchgeführt.

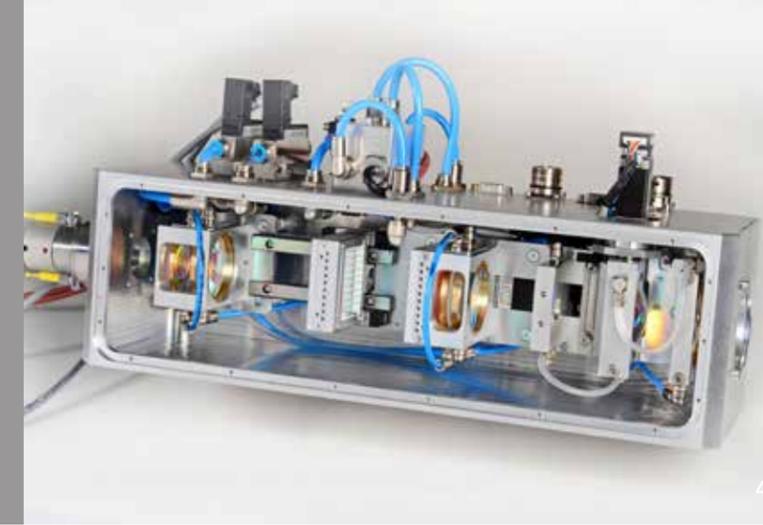
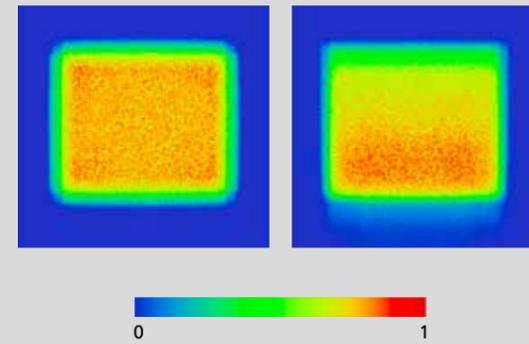
Ansprechpartner

Sören Hollatz M.Sc.
Telefon +49 241 8906-613
soeren.hollatz@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

1 Kupferverbinder kontaktiert auf Metallisierung.
2 Querschliff einer Schweißung von Kupfer auf einer Leiterplattenmetallisierung.

3 Submodul mit 12 Batteriezellen (Typ 18650).
4 Batteriemodul bestehend aus 12 Submodulen.



LASERSTRAHLSCHWEISSEN VON BIPOLARPLATTEN

Aufgabenstellung

Brennstoffzellen sind die neuen Hoffnungsträger für die Energiegewinnung der Zukunft. Sie bieten die Möglichkeit, die in Brennstoffen (insbesondere Wasserstoff und Methanol) gespeicherte chemische Energie direkt in elektrische Energie umzuwandeln. Die theoretische Effizienz der Brennstoffzelle beträgt bis zu 83 Prozent und die einzige Emission ist Wasserdampf. Zentrales Element der Brennstoffzelle ist die Bipolarplatte, die in ihrer metallischen Variante meist aus zwei umgeformten dünnwandigen Nickelblechen besteht. Diese werden mittels Laserstrahlschweißen verschweißt. Dabei ergeben sich besondere Herausforderungen in Bezug auf Hermetizität, Prozesszeit und Reproduzierbarkeit.

Vorgehensweise

Das fehlerfreie und hermetisch dichte Schweißen von reinem Nickelblech, insbesondere bei längeren Nähten, erfordert eine lasergerechte Spannvorrichtung, die ein spaltfreies Andrücken der Bleche über die gesamte Nahtlänge ermöglicht. Die exakte Kontrolle des Energieeintrags in das Bauteil erfolgt mittels einer örtlichen Leistungsmodulation unter Einsatz eines Single Mode Faserlasers mit hoher Strahlqualität und einem Strahldurchmesser von $< 30 \mu\text{m}$. Ein wichtiger Auslegungsparameter ist der Überlappgrad, der sich aus den Oszillationsparametern in Verbindung mit der Vorschubgeschwindigkeit ergibt.

- 1 Metallische Bipolarplatte mit hermetisch dichten Schweißnähten.
2 Querschliff einer Schweißnaht.

Ergebnis

Durch die Entwicklung einer komplexen Spannvorrichtung und Anpassung der Schweißgeometrien in Bezug auf Anordnung und Reihenfolge können Prozessfehler vermieden und hermetisch dichte Bipolarplatten reproduzierbar geschweißt werden. Mittels angepasster Oszillationsparameter (Amplitude und Frequenz) können hohe Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 140 mm/s erreicht werden. Daraus resultieren ein geringer Energieeintrag sowie ein minimaler Wärmeverzug des dünnwandigen Nickelbauteils. Der zwingend erforderliche Einsatz von Argon als Schutzgas verbessert das Schweißbild und ermöglicht oxidationsfreie Oberflächen.

Anwendungsfelder

Die Ergebnisse der Prozessentwicklung werden in erster Linie für die Herstellung von metallischen Bipolarplatten verwendet, können aber auch auf andere Anwendungsgebiete wie das Aufschweißen von Sensormembranen in der Druckmesstechnik oder das Einschweißen von Berstscheiben in der Batteriezellfertigung übertragen werden.

Ansprechpartner

Vahid Nazery Goneghany
Telefon +49 241 8906-159
vahid.nazery@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

OPTISCHES SYSTEM FÜR DAS LASERUNTERSTÜTZTE FVK-TAPE-LEGEN

Aufgabenstellung

Der zunehmende Einsatz von Faserverbundkunststoffen (FVK) führt zu einer größeren Bedeutung von flexiblen Fertigungsstrategien für individuelle Kundenwünsche. Die Bearbeitungsoptik ist eine wesentliche Komponente für einen flexiblen Prozess, da hier zur Erhitzung des Tapes die Laserstrahlung gezielt eingebracht wird. Durch Anpassung der Intensitätsverteilung kann die Laserstrahlung je nach Materialbeschaffenheit oder Windungsgeometrie applikationsangepasst und energieeffizient eingebracht werden.

Vorgehensweise

Zur Optimierung des Tape-lege-Prozesses wird eine Optik benötigt, welche eine Strahlformung von einer rotations-symmetrischen Eingangsverteilung zu einer homogenen, rechteckigen Intensitätsverteilung des Laserstrahls in der Bearbeitungsebene ermöglicht. Zusätzlich sind ein variabler Zoom sowie eine Funktionalität zur Erzeugung eines linearen Intensitätsgradienten erforderlich. Durch Aufteilung und Überlagerung mehrerer Teilstrahlen mittels Zylinderlinsenarrays entsteht eine homogene Intensitätsverteilung in der Bearbeitungsebene. Die Zoomfunktionalität wird dabei durch das Verschieben der Zylinderlinsenarrays gewährleistet. Die Erzeugung des Intensitätsgradienten beruht auf dem Scheimpflug-Prinzip. Durch eine gezielte Verkipfung der Fokussierlinse kann der gewünschte Intensitätsgradient eingestellt werden.

Ergebnis

Das in Kooperation mit der Firma IXUN GmbH aufgebaute optische System ermöglicht aufgrund seiner Einstellmöglichkeiten einen idealen Wärmeeintrag in das Werkstück und somit die optimale Verarbeitung von FVK.

Anwendungsfelder

Von dem neu entwickelten optischen System profitieren prinzipiell alle Laserbearbeitungsverfahren, bei denen ein Wechsel zwischen einem homogenen und einem linear ansteigenden Intensitätsprofil von Vorteil ist. Besonders für den Bereich des Laserhärtens und -entfestigens ist dieses innovative System interessant. Durch den neugewonnenen Freiheitsgrad der variablen Intensitätsverteilung eröffnen sich neue Möglichkeiten der Prozessführung.

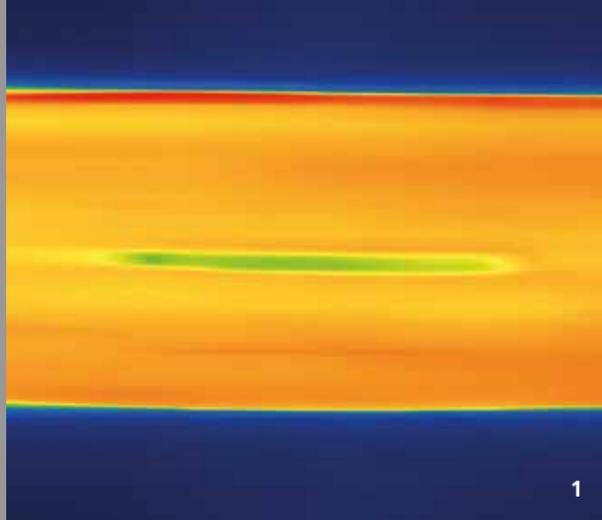
Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU-Projekts »ambliFibre« unter dem Förderkennzeichen 678875 durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Marcel Prochnau
Telefon +49 241 8906-8220
marcel.prochnau@tos.rwth-aachen.de

Dr. Jochen Stollenwerk
Telefon +49 241 8906-411
jochen.stollenwerk@ilt.fraunhofer.de

- 3 Veränderung der Intensitätsverteilung in der Bearbeitungsebene.
4 Laboraufbau des optischen Systems.



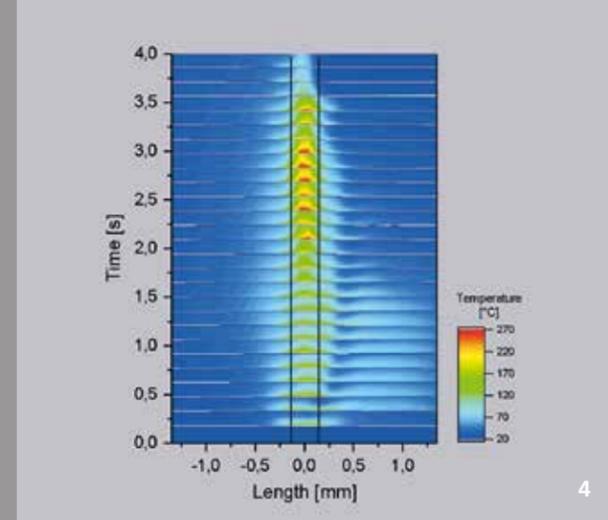
1



2



3



4

PROZESSÜBERWACHUNG BEIM LASERBASIERTEM TAPE-LEGE-PROZESS FÜR FVK-BAUTEILE

Aufgabenstellung

Für die Herstellung von Faserverbundkunststoff (FVK)-Bauteilen auf Basis eines laserbasierten Tape-lege-Verfahrens spielen Automatisierbarkeit, Flexibilität und Ressourceneffizienz eine wesentliche Rolle. Schwerpunkt der Systementwicklung ist die prozesskontrollierte Laserstrahlschweißung von Faserverbundwerkstoff-Bändern, um Inline-Defekte im Bauteil robust und mit hoher Sicherheit zu erkennen.

Vorgehensweise

Realisiert wird die Prozesskontrolle mithilfe von bildgebender Thermographie und maschinellem Lernen. Zur Erkennung der unzureichenden Laminierung während des Tape-lege-Prozesses werden im Vorfeld in FVK-Bänder künstlich Mikroprägungen eingebracht. Mithilfe von »live«-Thermographiebildern aus dem Fügeprozess werden die Prägungen erkannt und anschließend hinsichtlich der verbleibenden Geometrie nach dem Verschweißen bewertet und daraus die Anbindequalität abgeleitet. Der Algorithmus zur Prozesskontrolle basiert auf maschinellem Lernen. Im ersten Schritt werden die Prägungen auf dem Band erkannt und im zweiten Schritt erfolgt die Qualitätsbewertung. Das bei diesem Verfahren

1 IR-Aufnahme eines FVK-Bands mit eingebrachter Prägung.
2 Laserschweißprozess zum Tape-Legen von FVK-Bändern mit Thermographiekamera, Quelle: Fraunhofer IPT.

erforderliche Lernen der Prozessüberwachung erfolgte mit Referenzlaminierungen bei bekannter Qualität. Nach der Lernphase ist die Prozessüberwachung in der Lage, neue unbekannte Laminierungen zu bewerten.

Ergebnis

Die entwickelte Prozessüberwachung ist echtzeitfähig und aufgrund der vorhandenen Schnittstellen leicht zu integrieren. Mit 150 zur Verfügung stehenden Datensätzen wurde das System evaluiert. 75 Prozent der Daten wurden zum Training des Modells verwendet und 25 Prozent als Testdatensätze. Im Ergebnis werden 98 Prozent der existierenden Prägungen auf dem FVK-Tape erkannt und bei allen erkannten Prägungen die Qualität der Laminierung richtig bewertet.

Anwendungsfelder

Das »ambliFibre«-Überwachungssystem bietet sich für alle Anwendungen an, deren Ziel die Detektion von Strukturen auf Oberflächen mit unterschiedlich temperierten Arealen ist. Das Verfahren ist durch das maschinelle Lernen leicht anpassbar und flexibel erweiterbar. Durch die sichere Objekterkennung können nicht nur bekannte Imperfektionen, sondern auch neue im Prozess entstandene erkannt werden.

Die Arbeiten werden im Rahmen des EU-Projekts »ambliFibre« unter dem Förderkennzeichen 678875 durchgeführt.

Ansprechpartner

Andrea Lanfermann M.Sc.
Telefon +49 241 8906-366
andrea.lanfermann@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon +49 241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

SCHNEIDEN VON FASERVERBUNDMATERIAL MIT HOHER EFFIZIENZ UND QUALITÄT

Aufgabenstellung

Beim Laserstrahlschneiden von Faserverbundmaterial, insbesondere carbonfaserverstärkter Kunststoffe (CFK), zielt die Prozessauslegung auf die Minimierung der Wärmeeinflusszone (WEZ) bei gleichzeitiger Einhaltung einer produktivitätsorientierten, kurzen Bearbeitungszeit ab. Durch wiederholtes, schnelles Scannen des Laserstrahls entlang der Schneidbahn entsteht ein sukzessiver, schonender Abtrag. Über die Scangeschwindigkeit und die Abkühlzeit zwischen den Scans werden WEZ und Bearbeitungszeit beeinflusst. Am Fraunhofer ILT werden Optimierungsregeln für das taktzeitoptimierte Schneiden von CFK- und GFK-Hybridmaterial mit einem 5 kW-Singlmode-Laser auf einen Demonstrator angewendet und untersucht.

Vorgehensweise

Mithilfe von Thermovideographie wird das Aufheiz- und Abkühlverhalten analysiert. Die Wärmeakkumulation wird so quantitativ von Scan zu Scan erfasst. Für ein breites Parameterfeld werden die Temperaturverläufe mit der resultierenden WEZ korreliert und systematische Kennlinienfelder ermittelt.

Ergebnis

Nicht die schnellstmögliche Scangeschwindigkeit, die in einem einzelnen Scan immer den geringsten Wärmeeintrag liefert, führt bei Einhaltung einer vorgegebenen Bearbeitungsdauer zu einer minimalen WEZ. Vielmehr können optimale Scangeschwindigkeiten angegeben werden, bei denen die Anzahl

der erforderlichen Scans und die Dauer der Abkühlzeit zwischen den Scans so abgestimmt sind, dass eine reduzierte Wärmeakkumulation zu einer minimalen WEZ führt. Im konkreten Fall wurde eine WEZ < 50 µm bei unidirektionalem CFK, das in Faserrichtung geschnitten wurde, erreicht.

Anwendungsfelder

Die erarbeiteten Optimierungsregeln bilden bei allen Anwendungen, in denen glas- oder carbonfaserverstärktes Verbundmaterial im Multi-Pass-Verfahren geschnitten wird, eine wertvolle Unterstützung bei der Prozessauslegung. Die Wärmeeinbringung wird auf den unterschiedlichen Zeitskalen, innerhalb eines Scans und von Scan zu Scan, für ein optimales Bearbeitungsergebnis systematisch eingestellt.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF im Rahmen des Projekts »HyBriLight« unter dem Förderkennzeichen 13N12718 durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. Frank Schneider
Telefon +49 241 8906-426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon +49 241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

3 Laserbesäumter PKW-Dachspiegel aus einem CFK-GFK-Metallverbund.
4 Streakdarstellung des Temperaturverlaufs während des Schneidens.



LASERPROZESSE FÜR DIE PRODUKTION VON LEICHTBAU-HYBRIDBAUTEILEN

Aufgabenstellung

Die Kombination verschiedener Materialien und die Integration mehrerer Prozessschritte im Fertigungsprozess sind Ansätze, um im Leichtbau Komponenten gewichtsoptimiert und kostengünstig herzustellen. Um Multi-Material-Bauteile in serientauglichen Prozessen herzustellen, sind für die Materialauswahl geeignete Füge- und Trennverfahren notwendig.

Vorgehensweise

Im Rahmen des BMBF-Projekts »HyBriLight« wurde ein Hybridbauteil entwickelt, welches die erfolgreiche Implementierung von neuen, innovativen Laserprozessen in der Leichtbauproduktion demonstriert. Dabei handelt es sich um einen sogenannten PKW-Dachspiegel, basierend auf dem Originalbauteil des 7er BMW, welcher aus einer faserverstärkten Kunststoffstrebe mit zwei metallischen Anschlussblechen besteht. Mittels ultrakurz gepulster Laserstrahlung werden auf den Anschlussblechen schwammartige Mikrostrukturen erzeugt, die eine Verkrallung des Kunststoffes in der Metalloberfläche ermöglichen. Der eigentliche Fügevorgang erfolgt zusammen mit der Herstellung der Kunststoffkomponente im Fließpressverfahren, indem die strukturierten Anschlussbleche in das Fließpresswerkzeug eingelegt und

dann mit dem glasfaserverstärktem Kunststoff und lokalen Carbonfaser-Verstärkungstapes verpresst werden. Abschließend werden die Überläufe des GFK-CFK-Materialmixes mithilfe eines Faserlasers im Multi-Pass-Verfahren besäumt.

Ergebnis

Die erzeugten Kunststoff-Metall-Hybridverbindungen, basierend auf mechanischer Verkrallung in den erzeugten Mikrostrukturen, können Schubkräfte von bis zu 50 MPa übertragen. Das Multi-Pass-Verfahren mit Faserlasern ermöglicht das Schneiden und Besäumen von Materialkombinationen aus glas- und carbonfaserverstärkten Kunststoffen mit minimierter Wärmeeinflusszone. Durch die Integration des Fügeprozesses in den Urformprozess des Kunststoff-Bauteils wird die Prozesskette verkürzt und die Prozesszeit deutlich reduziert.

Anwendungsfelder

Das Fügen und Besäumen von Multi-Materialverbunden sind Prozessschritte, die in allen Bereichen des Leichtbaus erforderlich sind, insbesondere in der Automobilindustrie und der Luftfahrt.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben »HyBriLight« wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N12718 durchgeführt.

Ansprechpartner

Kira van der Straeten M.Sc.
Telefon +49 241 8906-158
kira.van.der.straeten@ilt.fraunhofer.de

Dr. Frank Schneider
Telefon +49 241 8906-426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de

- 1 Dachspiegel mit Kunststoff-Metall-Hybridverbindung.
- 2 Laserstrahl-Remote-Schneiden von CFK-GFK-Hybridmaterial.

LASER BLANKING VON FLEXIBEL GEWALZTEM BANDMATERIAL

Aufgabenstellung

Mehrere weltweit installierte Anlagen unterschiedlicher Hersteller zeigen im Serieneinsatz, dass sich das Laserschneiden vom Band als flexible Fertigungsmethode für den Zuschnitt von Karosseriebauteilen als attraktive und nachhaltige Alternative zum Stanzen zunehmend etabliert. Die Umstellung von einem werkzeuggebundenen Verfahren auf ein flexibles Laserkonturschnittverfahren, das sogenannte Laser Blanking, bietet große wirtschaftliche Vorteile. Dazu zählen insbesondere die Einsparung der Investitionskosten für Werkzeuge und deren Lagerhaltung, die einfache Veränderung der Schnittkontur in Produktentwicklungs- oder Umstellungsphasen und das teils erhebliche Materialeinsparungspotenzial durch die flexible Verteilung und Schachtelung des Produktionsprogramms. Die Flexibilität des Laserschneidverfahrens ist dabei nicht auf die einfach adaptierbare, softwaregestützte Festlegung der Schnittkontur beschränkt, sondern kann auch genutzt werden, um während des Prozesses Material mit lokal unterschiedlichen Eigenschaften zu bearbeiten. Am Fraunhofer ILT wird ein Laser Blanking-Verfahren zum Schneiden von flexibel gewalztem Bandmaterial mit lokal variierender Dicke entwickelt.

Vorgehensweise

Um Material mit variabler Dicke prozesssicher schneiden zu können, werden zwei Ansätze verfolgt. Zum einen wird der Robustheit des Prozesses eine hohe Priorität eingeräumt. Zum anderen werden Prozessparameter dynamisch in Abhängigkeit

der Blechdicke angepasst. Die dickenabhängige Steuerung der Schneidgeschwindigkeit als ein entscheidender Parameter sichert dabei die Einhaltung der Qualitätskriterien und die Produktivität.

Ergebnis

Die hohen Standards des Laser Blankings von Material mit konstanten Eigenschaften konnten in vollem Umfang auch bei Bandmaterial mit lokal variierender Banddicke erreicht werden.

Anwendungsfelder

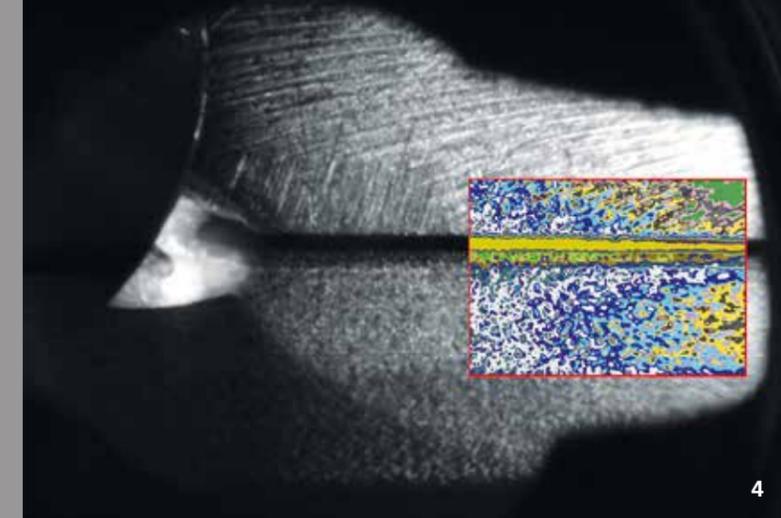
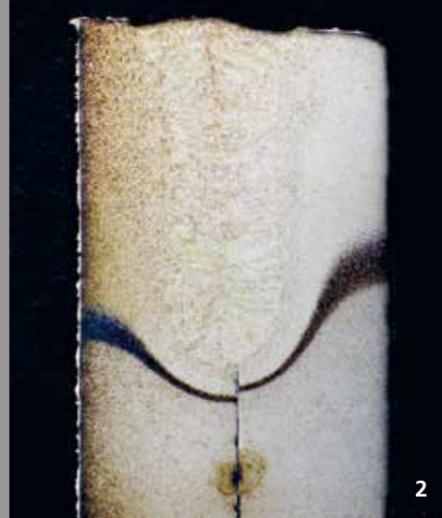
Für Material mit konstanten wie auch mit variablen Eigenschaften hat der hochproduktive Laserzuschnitt vom Coil einen Stand erreicht, der es gestattet, Massenprodukte aus Blechwerkstoffen in ständig wechselnden Varianten wirtschaftlich herzustellen. Aufgrund höherer verfügbarer Laserleistung wird diese Technologie auch für größere Banddicken oberhalb 3 mm zunehmend interessant.

Ansprechpartner

Dr. Frank Schneider
Telefon +49 241 8906-426
frank.schneider@ilt.fraunhofer.de

Dr. Dirk Petring
Telefon +49 241 8906-210
dirk.petring@ilt.fraunhofer.de

- 3 Hochgeschwindigkeitsschneiden einer B-Säule.
- 4 Bauteilmuster.



LASERSTRAHLSCHWEISSEN PRESSGEHÄRTETER CHROMSTÄHLE MIT MAR- TENSITISCHEM GEFÜGE

Aufgabenstellung

Nachdem die prinzipielle Schweißbeugung pressgehärteter Chromstähle mit martensitisch-austenitischem Gefüge grundsätzlich festgestellt wurde, steht in der Weiterentwicklung die fügetechnische Absicherung im Vordergrund. Den Schwerpunkt der Forschung bilden dabei artgleiche sowie artungleiche Verbindungen im Überlappstoß. Auf Basis der artungleichen Verbindung dieser Stähle mit anderen ultrahochfesten Güten wird die Weiterentwicklung geschweißter Komponenten und Bauteile vorangetrieben.

Vorgehensweise

Unter Berücksichtigung der geeigneten Wärmebehandlung werden in Versuchen zum Schweißen die Parameter für die Erreichung einer homogenen Festigkeitsverteilung ermittelt. Die Verbindung erfolgt durch konturierte Stichnähte sowie durch Stirnflächennähte. Die mechanischen Eigenschaften werden in quasistatischen und dynamischen KS2-Versuchen bestimmt. In Schwingfestigkeitsuntersuchungen wird das Betriebsverhalten der Schweißverbindungen ermittelt.

1 Schweißnaht am Überlappstoß
dreier Werkstoffe (1.5528, 1.4034, 1.4678).
2 Stirnflächennaht in 1.5528.

Ergebnis

Nach Klärung der metallurgischen Grundlagen wurden die ersten Parameterfelder für das Schweißen und die Wärmebehandlung identifiziert, sodass über die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften eine erste Iteration angestoßen wurde.

Versuche zum Hydroformen ohne Matrize haben gezeigt, dass die Versagensgrenzen der Schweißnähte ohne Wärmebehandlung noch zu niedrig sind, um eine zuverlässige Fertigung sicherzustellen. Weitere Versuche dienen dazu, die mechanisch-technologischen Eigenschaften zu verbessern.

Anwendungsfelder

Die Ergebnisse des Projekts sind direkt im Fahrzeugbau für Straße und Schiene nutzbar. Hier kann das Potenzial für den Leichtbau, das sich aus den hohen Festigkeiten ergibt, voll ausgeschöpft werden. Hersteller von Schweißausrüstung und Lasertechnik können ihr Angebot für anspruchsvolle Schweißaufgaben im Bereich ultrahochfester Stähle erweitern.

Das IGF-Vorhaben 19556 der FOSTA – Forschungsvereinigung Stahlanwendungen e.V. wird über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung IGF vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi gefördert.

Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Martin Dahmen
Telefon +49 241 8906-307
martin.dahmen@ilt.fraunhofer.de

FUGENFOLGE UND ADAPTIVE REGELUNG MITTELS ECHTZEIT- BILDVERARBEITUNG

Aufgabenstellung

Beim Laserstrahlschweißen erfordert der hohe Grad an Mechanisierung von Arbeitsabläufen eine kontinuierliche präzise Führung des Laserbearbeitungswerkzeugs in Bezug auf die Fügepartner. Die in den Bildverarbeitungssystemen eingesetzten Sensoren fungieren als Sinnesorgane, die beispielsweise die Funktion des visuellen Führens von Maschinen und Robotern oder die Positionserkennung von Werkstücken erfüllen. Einfache Lasertriangulationsmethoden entsprechen heute nicht mehr den Anforderungen, da bei Fertigungsprozessen technische Nullspalte notwendig sind bzw. im Prozess auftreten können. Bei variierenden Spaltmaßen ist zudem die Menge an eingebrachtem Zusatzwerkstoff adaptiv anzupassen.

Vorgehensweise

Am Fraunhofer ILT wurde ein System entwickelt, mit dem der Abstand zwischen Stoßfuge und Laserstrahl (TCP) sowie die Fugenbreite während des Fügens mittels Echtzeit-Bildverarbeitung adaptiv geregelt werden kann. Hierfür wird ein Bildsensor koaxial im Strahlengang der Bearbeitungsoptik für den fasergeführten Laserstrahl bzw. lateral bei einer CO₂-Schweißoptik angeordnet.

Ergebnis

Die für die Fugenfolgeregelung erforderliche Implementierung der rechenintensiven Bildverarbeitungsalgorithmen wurde auf programmierbaren Logikgattern (Field Programmable Gate Arrays FPGA) bzw. auf einer Grafikkarte (GPU) für den texturbasierten Ansatz mit einer Vielzahl parallel arbeitender Grafikprozessorkernen umgesetzt. In Verbindung mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung für die Kommunikation mit peripheren Geräten und Anlagen wird ein echtzeitfähiges Prozessüberwachungs- und Steuerungssystem realisiert.

Anwendungsfelder

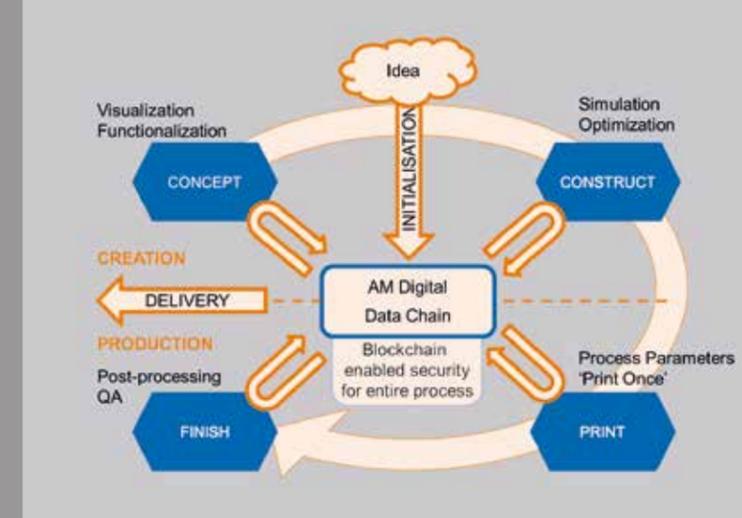
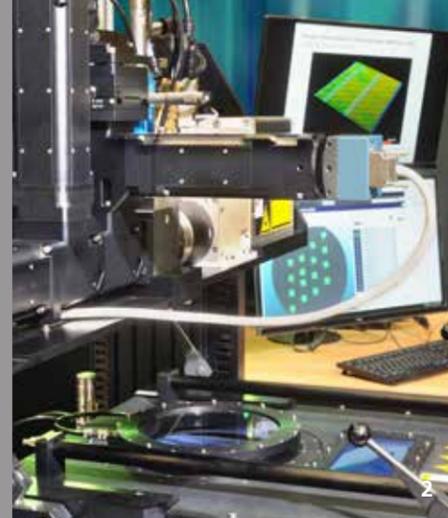
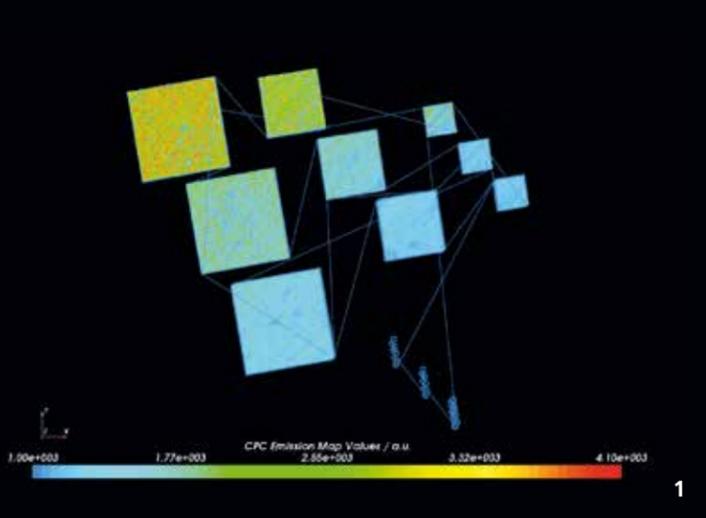
Mit der entwickelten Echtzeit-Bildverarbeitung steht ein inlinefähiges Fugenfolgesystem für Anwendungen im Schiffs-, Stahl- oder Schienenfahrzeugbau sowie in der Profilverfertigung zur Verfügung. Die Anbindung an Fertigungsmaschinen ist unabhängig vom Maschinentyp gestaltet. Eine Übertragung des Systems auf andere Konfigurationen wird durch modulare Schnittstellen unterstützt.

Die zugrundeliegenden FuE-Arbeiten wurden im Projekt »ShipLight« im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie BMWi unter dem Förderkennzeichen 03SX389M durchgeführt sowie als LEA »SPOTnSEAM« durch die EU im Projekt »LASHARE« unter dem Kennzeichen 609046 gefördert.

Ansprechpartner

Wolfgang Fiedler M.Sc.
Telefon +49 241 8906-390
wolfgang.fiedler@ilt.fraunhofer.de

3 CO₂-Profilieranlage mit lateral
angeordneter Fugenfolge.
4 Prozessbild mit texturbasierter
Fugensegmentierung.



DEEP LEARNING ZUR QUALITÄTSDIAGNOSE BEI DER LASERMATERIAL-BEARBEITUNG

Aufgabenstellung

Heutige Prozessbeobachtungssysteme erlauben es, die Wechselwirkungszone bei Lasermaterialbearbeitungsprozessen mehrdimensional zu erfassen. Diese Mehrdimensionalität wird durch hochauflösende Kamerasysteme erreicht, welche die Prozesszone örtlich und/oder spektral aufgelöst beobachten. Die dabei entstehenden großen Datenmengen müssen in geeigneter Weise ausgewertet werden, um daraus den aktuellen Prozesszustand robust erkennen zu können.

Vorgehensweise

Die Inline-Nutzung neuronaler Netze zur Verarbeitung von Sensordaten ist heute durch die Verfügbarkeit entsprechender Datenverarbeitungssysteme realisierbar. Vor allem Graphics Processing Units (GPUs) ermöglichen die parallele Verarbeitung großer Datenmengen und damit die Erstellung komplexer Modelle.

Nach der Strukturdefinition des neuronalen Netzes wird eine Trainingsphase durchgeführt. Dabei werden dem Algorithmus eine große Anzahl (> 10.000) prozessspezifischer Beispiele von Kombinationen aus mehrdimensionalen Messdaten und dem zugehörigen Prozesszustand vorgegeben. Die freien Parameter des Modells werden solange optimiert, bis die

erforderliche Vorhersagegenauigkeit erreicht wird. Das daraus hervorgehende Modell ist in der Lage, mehrdimensionale Messdaten anhand spezifisch erlernter Merkmale in zuvor definierte Prozesszustandsklassen einzuordnen. Bei der Lasermaterialbearbeitung kann die Einteilung der Prozessdaten in unterschiedliche Klassen, wie beispielsweise verschiedene Prozessfehler oder Qualitätsabstufungen, erfolgen.

Ergebnis

Zur simultanen Detektion der Fokusslage und der zugeführten Laserleistung wurde ein Convolution Neural Network (CNN) auf einem GPU-Hochleistungscluster definiert und trainiert. Die während eines Schweißprozesses aufgezeichneten IR-Bilddaten in Kombination mit den entsprechenden Prozessparametern dienen als Datenbasis zum Modelltraining. Die Anwendung des erzeugten Modells zeigt, dass sich mithilfe von Deep Learning spezifische Bildmerkmale, welche die Fokusslage und die Laserleistung unabhängig voneinander vorhersagen, extrahieren lassen.

Anwendungsfelder

In-situ-Messungen und Analysen in der Prozesszone ermöglichen es, auch auf Abweichungen im Prozess mittels nachgelagerter Regelstrategie zu reagieren. Zudem lassen sich Ereignisse, wie Nahtimperfectionen beim Schweißen, in mehrdimensionalen Prozessdaten identifizieren. Insgesamt können datenintensive Prozessüberwachungskonzepte für unterschiedliche industrielle Anwendungen realisiert werden.

Ansprechpartner

Christian Knaak M.Sc.
Telefon +49 241 8906-281
christian.knaak@ilt.fraunhofer.de

1 In-situ-Pyrometerdaten aus einer Bauteilebene.

2 LPBF-Anlage mit integriertem Sensorsystem.

BLOCKCHAIN – DATENSCHUTZ UND DIGITALE TRANSPARENZ ENTLANG EINER PRODUKTIONSKETTE

Aufgabenstellung

Vom Entwurf bis zur Auslieferung eines Produkts entstehen eine Vielzahl unterschiedlicher Daten. Im Verlauf einer Produktentwicklung gehen jedoch oft Informationen sowohl über den Autor als auch Datei-Inhalte zu einem bestimmten Zeitpunkt verloren, sodass Details später nicht mehr nachvollzogen werden können. Zur Absicherung von Informationsbeständen und Datenintegrität entwickelt das Fraunhofer ILT im Projekt »AMable« eine Lösung zur vollständigen digitalen Transparenz entlang einer Produktionskette.

Vorgehensweise

Die Entwicklung der »AMable IDS-Connector App« auf Basis der Blockchain-Technologie ermöglicht eine einfache und manipulationssichere Dokumentation von Datenbeständen. Dabei erzeugt die Anwendung mittels Hash-Algorithmen einen digitalen Fingerabdruck einer Datei und verbindet diesen mit Metadaten wie der Identifikation des Urhebers. Dieser Fingerabdruck wird zusammen mit den Metadaten als Block in die Kette integriert, sodass Zeitpunkt und Eigner des Blocks festgelegt sind. Um neue Blöcke mit geringem Rechenaufwand schnell in die Kette zu integrieren, ist die Blockchain auf Basis von Hyperledger bei mehreren unabhängigen Entitäten implementiert.

Ergebnis

Mit der »AMable IDS-Connector App« kann der Eigner der Daten die digitale Transparenz nach Bedarf schaffen. Möchte er selbst prüfen oder einem Dritten gegenüber nachweisen, dass seine Datei nicht manipuliert wurde, so erzeugt er erneut einen digitalen Fingerabdruck und vergleicht diesen mit dem Fingerabdruck aus der Blockchain. Stimmen beide überein, so ist gleichzeitig der Nachweis zum Urheber, Zeitpunkt und Inhalt erbracht. Dies stellt die Integrität der Daten sicher.

Die Implementation einer Blockchain zur Dokumentation von Daten entlang der Prozesskette im EU-Projekt »AMable« demonstriert den Weg zur Absicherung der Urheberschaft, zur Einhaltung von Dokumentations- und Nachweispflichten und nicht zuletzt zum Schutz vor Manipulation.

Anwendungsfelder

Die »AMable-Blockchain« kann als Basis verwendet werden, um auch in speziellen Bereichen der Fertigung als Trusted System eine protokollierende Funktion zu übernehmen und so Manipulationssicherheit für Vorgangsdaten sicherstellen.

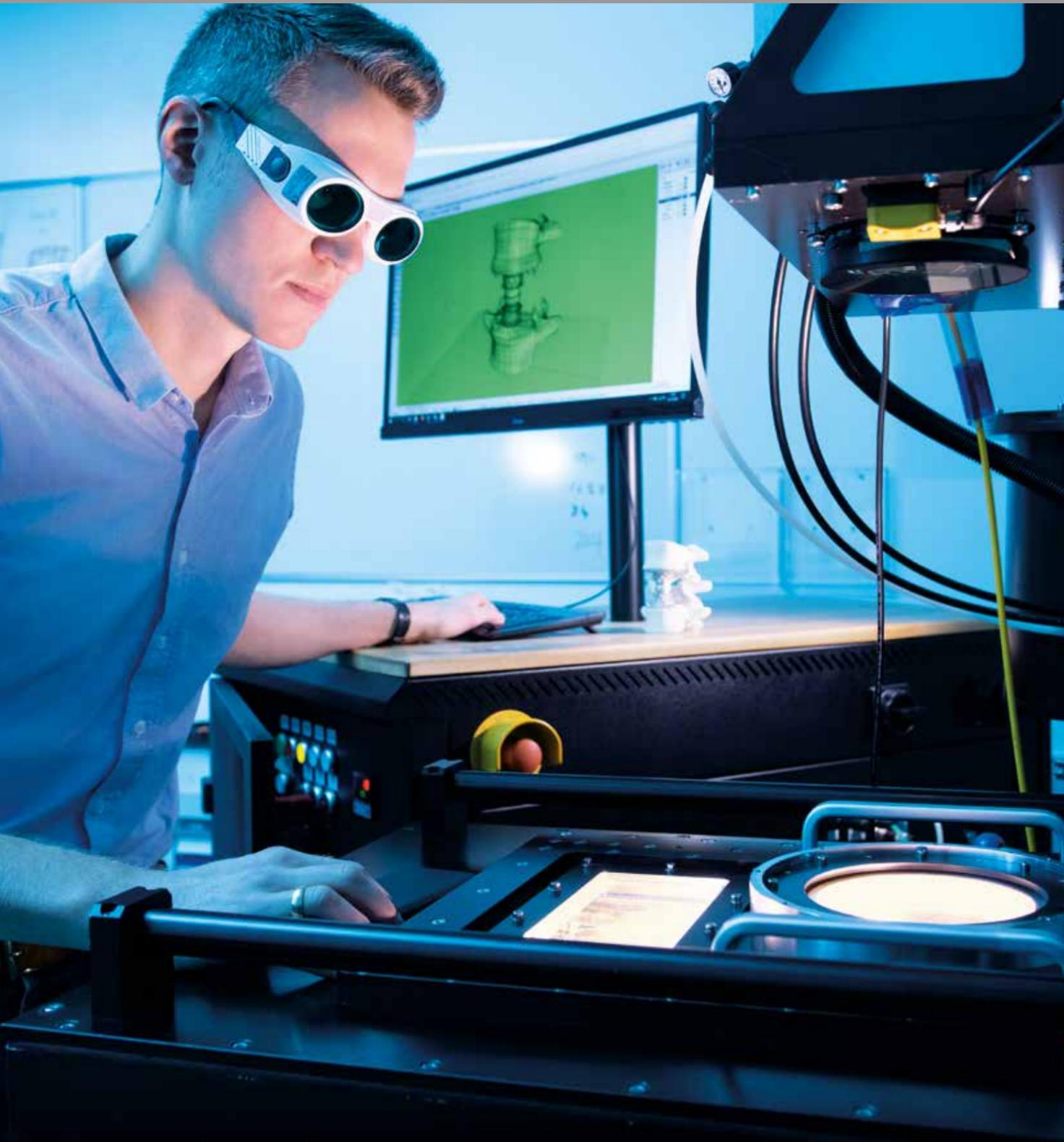
Ansprechpartner

Dipl.-Ing. (FH) B.Eng. (hon) Ulrich Thombansen M.Sc.
Telefon +49 241 8906-320
ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Peter Abels
Telefon +49 241 8906-428
peter.abels@ilt.fraunhofer.de

3 Blockchain zur Absicherung der digitalen Datenkette.

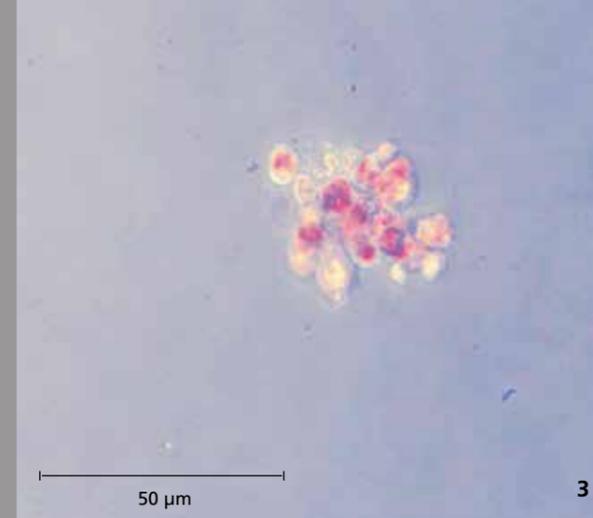
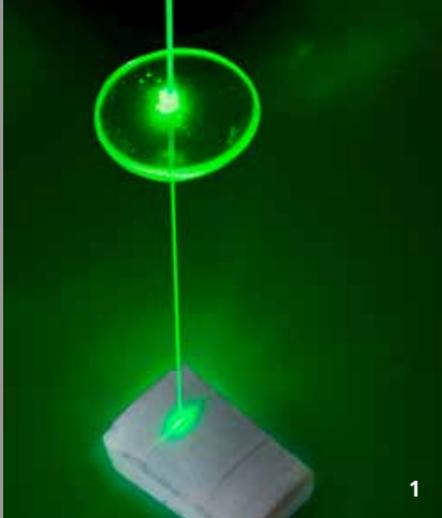
MEDIZINTECHNIK UND BIOPHOTONIK



INHALT

Laserchirurgie zur Dekompression von Spinalkanalstenosen	92
Zellschonender Einzelzelltransfer	93
Additive Fertigung hochbrechender polymerer Optiken	94
Prototyping und Fertigung von 3D-Mikrofluidik-Chips aus Quarzglas	95
Mediendichtes Schweißen von 50 μ l	96
Reaktionskammern aus transparentem PC	96
Innovatives Plasmaverfahren zum Abbau von Schadstoffen im Abwasser	97

Laserstahlschmelzen eines Wirbelkörper-Ersatzimplantats.



LASERCHIRURGIE ZUR DEKOMPRESSION VON SPINALKANALSTENOSEN

Aufgabenstellung

Jährlich werden in Deutschland 55.000 Operationen zur Dekompression von lumbalen Spinalkanalstenosen durchgeführt. Dies sind knöcherne Wucherungen, die den Wirbelkanal der Lendenwirbelsäule verengen und durch mechanischen Druck auf die neuronalen Strukturen starke Schmerzen und damit verbunden Einschränkungen der Beweglichkeit betroffener Patienten hervorrufen. Bei fortgeschrittenen Stenosen erfolgt die Therapie durch einen chirurgischen Eingriff, bei dem der Operateur mit einer Hochgeschwindigkeitsfräse einen Zugang durch den betroffenen Wirbelkörper schafft und die knöchernen Wucherungen im Wirbelkanal entfernt. Bei einem von 200 Patienten werden dabei das Rückenmark oder die Nervenwurzel verletzt, was erhebliche körperliche Behinderungen des Patienten zur Folge hat.

Vorgehensweise

Daher hat das Fraunhofer ILT in Kooperation mit der neurochirurgischen Klinik des Universitätsklinikums Freiburg ein chirurgisches Verfahren entwickelt, mit dem der Wirbelkörper mit Hilfe von Kurzpuls Laserstrahlung hoher Leistung geöffnet werden kann. Die Laserstrahlung wird über ein Strahlführungssystem in ein Handstück eingekoppelt. Dieses besitzt neben der Laserschneidfunktion eine Beobachtungseinheit und eine

interferometrische Schneidtiefmessung, die den Prozess inline überwacht und regelt. Dadurch kann der Laserprozess nach Durchtrennen des Wirbelkörpers trägefrei beendet werden, ohne dass es zu Verletzungen der darunterliegenden neuronalen Strukturen kommt.

Ergebnis

Im Labor wurde ein Laserschneidprozess mit ps-Laserstrahlung entwickelt, der zur Behandlung von Blutungen unter Wasserspülung durchgeführt wird. Ferner ist ein Handstück entwickelt worden, das über einen integrierten Miniscanner die Laserpulse auf der Gewebeoberfläche so verteilt, dass ein effizienter, nicht thermischer Gewebeabtrag erfolgt. Das Handstück umfasst neben einer Schneidtiefmessung mit OCT auch eine Spül- und Absaugfunktion. Im Labor wurden Abtragsraten von $\Delta V/\Delta t = 1 \text{ mm}^3/\text{s}$ bei einer mittleren Laserleistung von $P = 55 \text{ W}$ und Pulsdauern von $\tau = 2 \text{ ps}$ erzielt.

Anwendungsfelder

Das Laserchirurgiesystem ist für den Einsatz in der Neurochirurgie konzipiert und kann insbesondere bei Wirbelsäulenoperationen und Kraniotomien eingesetzt werden.

Ansprechpartner

Lazar Bocharov M.Sc.
Telefon +49 241 8906-431
lazar.bocharov@ilt.fraunhofer.de

Dr. Achim Lenenbach
Telefon +49 241 8906-124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

ZELLSCHONENDER EINZELZELLTRANSFER

Aufgabenstellung

Für die Erforschung und Herstellung von künstlichem Gewebe werden verschiedene Bioprintingverfahren untersucht. Ein vielversprechendes Verfahren ist der laserinduzierte Vorwärtstransfer (Laser Induced Forward Transfer – LIFT), bei dem Einzelzellen in einer Hydrogelmatrix verdrückt werden können. Dazu ist es bislang notwendig, einen metallischen Absorber (z. B. Titan) mittels Laserstrahlung zu verdampfen, um einen Druck zu induzieren. Dadurch entstehen metallische Nanopartikel, deren Einfluss auf lebende Zellen nicht bekannt ist.

Vorgehensweise

Da das LIFT-Verfahren derzeit auf der Verdampfung eines metallischen Absorbers beruht, wird untersucht, ob andere Stoffe als Absorbionsmaterial verwendet werden können. Um eine genügend hohe Laserabsorption zu gewährleisten, wird eine durchstimmbare Laserstrahlquelle für den LIFT-Prozess getestet. Bei in ein 5-prozentiges Gelatinegel eingebetteten CHO-Zellen wurde der Einzelzelltransfer in 96er Mikrotiterplatten untersucht sowie die Wachstumsrate bestimmt.

Ergebnis

Die Ergebnisse des neuen LIFT-Prozesses zeigen, dass CHO-Zellen zuverlässig übertragen werden können. Die transferierten Einzelzellen überleben und proliferieren zu über 95 Prozent. Im Vergleich dazu proliferieren die gleichen Zellen nur zu 60 Prozent, wenn der Transfer mit ultravioletter Laserstrahlung und einer Titan-Absorberschicht durchgeführt wird.

Anwendungsfelder

Die Verwendung von neuen Absorbern und durchstimmbaren Laserstrahlquellen im LIFT-Verfahren eröffnet durch den gezielten Einzelzelltransfer neue Möglichkeiten im Bereich des Tissue Engineering. In der Biotechnologie werden Einzelzellen verwendet, wenn es um die Herstellung von Zellklonen geht. Durch den Verzicht auf metallische Absorber wird es möglich, LIFT mit weiteren Analyseverfahren zu kombinieren und neue Prozessketten zu etablieren.

Das MAVO-Projekt »OptisCell« wird im Rahmen eines internen Forschungsprojekts von der Fraunhofer-Gesellschaft gefördert.

Ansprechpartner

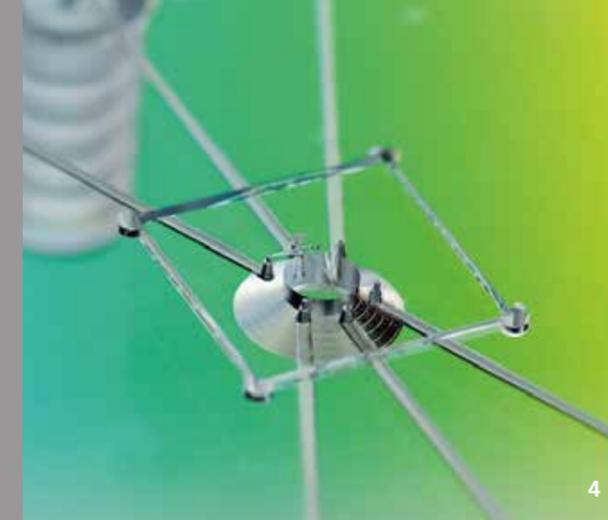
Richard Lensing M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8336
richard.lensing@ilt.fraunhofer.de

Dr. Nadine Nottrodt
Telefon +49 241 8906-605
nadine.nottrodt@ilt.fraunhofer.de

1 Laserschnitt in Knochen.

2 Handstück für die Wirbelsäulen Chirurgie mit ps-Laserstrahlung.

3 Transferierte lebende Zellen nach 7 Tagen.



ADDITIVE FERTIGUNG HOCHBRECHENDER POLYMERER OPTIKEN

Aufgabenstellung

Linse, Prismen, Wellenleiter und andere optische Bauteile werden aufgrund des geringen Gewichts und der leichten Abformbarkeit in Massenfertigungsprozessen bevorzugt aus transparenten Kunststoffen gefertigt. Für die Anwendung in der Optik sind insbesondere Parameter wie Transparenz, Färbung, spektraler Transmissions- und Reflexionsgrad, Brechungsindex sowie optische Dispersion essentiell. Die Anfertigung von Kleinserien und Individualbauteilen ist kostenintensiv und kann deutlich günstiger, flexibler und mit mehr Gestaltungsmöglichkeiten additiv gefertigt werden. Im Rahmen des BMBF-geförderten VIP+-Projekts »ThIOLens« wird am Fraunhofer ILT die generative Herstellung polymerer Optiken mit hoher Brechzahl für den Einsatz in der Ophthalmologie untersucht.

Vorgehensweise

Für die additive Herstellung optischer Bauteile mittels UV-Vernetzung werden neuartige Photoharze mit hohem Brechungsindex erforscht. Dafür bietet sich die Thiol-En-Klick-Chemie an. Hier reagieren Thiolgruppen durch Photoanregung mit ungesättigten Kohlenwasserstoffen und bilden schwerflüchtige Thioether, die durch ihre hohe Elektronendichte zur Bildung von hochbrechenden Polymeren mit guten Dispersionseigenschaften beitragen. Neben dem direkten

- 1 Benutzeroberfläche der modular aufgebauten Software.
- 2 Laboraufbau der Stereolithographieanlage mit Scanner, Bauplattform, Harzbecken und Rakel.

Einfluss auf die optischen Eigenschaften kann mit der Thiol-En-Klick-Chemie auch auf Photoinitiatoren sowie die chemische Oberflächenfunktionalisierung für eine höhere Qualität additiv gefertigter optischer Bauteile verzichtet werden.

Ergebnis

Bisher wurden verschiedene Materialien mit Brechungsindizes von über 1,53 und Abbe-Zahlen größer 40 entwickelt. Diese Materialien zeigen Bruchdehnungen von bis zu 30 Prozent und E-Module von bis zu 750 MPa. Bauteile mit chemisch aktiver Oberfläche konnten aus einem nicht stöchiometrischen Photoharz erzeugt werden. Verbliebene funktionelle Gruppen erlauben eine nachfolgende chemische Beschichtung der Oberfläche. So können z. B. Antireflexbeschichtungen oder Beschichtungen zur Erhöhung der Kratzfestigkeit unkompliziert aufgebracht werden.

Anwendungsfelder

Das Hauptanwendungsgebiet ist die Ophthalmologie. Hierfür werden zurzeit normgerechte zellbiologische Evaluierungen durchgeführt. Außerdem bietet sich, insbesondere für die härteren Materialien, eine Anwendung im Bereich technischer Optiken an. Hier könnte direkt auf aktiven Strukturen, wie z. B. Sensorchips, ausgehärtet werden. Dies ermöglicht die Herstellung von Ein- und Auskoppelstrukturen oder Strahlkollimatoren sowie das Schreiben von Lichtleitern auf optischen Chips.

Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 03VP00841 durchgeführt.

Ansprechpartner

Andreas Hoffmann M.Sc.
Telefon +49 241 8906-447
andreas.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

PROTOTYPING UND FERTIGUNG VON 3D-MIKROFLUIDIK-CHIPS AUS QUARZGLAS

Aufgabenstellung

Das Anwendungsspektrum mikrofluidischer Systeme ist vielfältig und oft kundenspezifisch. Übliche Herstellungsverfahren für Mikrofluidik-Chips nutzen Abformprozesse oder lithographische Methoden. Dies limitiert die Designs auf planare Strukturen. Die Möglichkeit, freigeformte, dreidimensionale Mikrostrukturen direkt aus dem digitalen Entwurf herzustellen, ist schnell und kostensparend bei der Entwicklung von Prototypen und verkürzt die Innovationszyklen für Neuentwicklungen deutlich. Zudem erlaubt das 3D-Verfahren die Realisierung völlig neuartiger Funktionalitäten in einem mikrofluidischen System.

Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT hat ein Laserverfahren zur Herstellung von 3D-Kanalstrukturen in Quarzglas entwickelt. Bei diesem Verfahren werden komplexe Strukturen aus den digitalen Konstruktionsdaten mit Ultrakurzpulslaserstrahlung (UKP) direkt in Quarzglas geschrieben. Durch den UKP-Prozess ändern sich lokal die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Glases. Die bestrahlten Strukturen können daher selektiv mit Mikrometeregenauigkeit nasschemisch geätzt werden, sodass im Inneren des Glassubstrats Hohlräume in der Form der geschriebenen Kanalstrukturen entstehen (selektives Laserätzen). Durch den CAD-basierten Entwurf und die präzise Fertigung im Volumen ist es möglich, sowohl fluidische Kanäle als auch Schnittstellen für die Positionierung optischer Komponenten in einem einzigen opto-fluidischen System sehr kompakt zu entwerfen und kostengünstig zu realisieren.

Ergebnis

Aktuell können Mikrofluidik-Chips mit Kanalstrukturen von 10 µm Breite und mehreren Zentimetern Länge hergestellt werden. Die Rauigkeit von $R_z = 2 \mu\text{m}$ kann durch thermische Umschmelzverfahren so stark reduziert werden, dass die Oberflächen optische Qualität erlangen und dadurch diagnostische Lasermessverfahren im Mikrofluidik-Chip anwendbar sind.

Anwendungsfelder

Für das Hochdurchsatzscreening wurden mikrofluidische Glas-Chips zur Erzeugung und Durchmusterung segmentierter Flüsse aus kleinsten Tröpfchen mit 5 µm Durchmesser entwickelt und zur zellfreien Biosynthese von Enzymen eingesetzt. Darüberhinaus finden die 3D-Mikrofluidik-Chips-Anwendung in multispektralen Screeningsystemen mit Streu- und Fluoreszenzlichtdetektion, bei denen dreidimensionale Strukturen zur hochgenauen hydrodynamischen Fokussierung von Zellen und Partikeln eingesetzt werden.

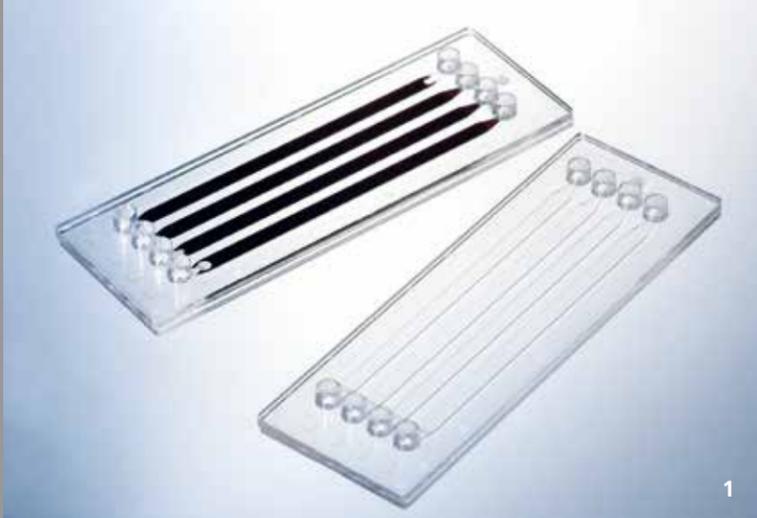
Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Georg Meineke
Telefon +49 241 8906-8084
georg.meineke@ilt.fraunhofer.de

Dr. Achim Lenenbach
Telefon +49 241 8906-124
achim.lenenbach@ilt.fraunhofer.de

3 Erzeugung von Tröpfchen mit $\varnothing 10 \mu\text{m}$.

4 Trägerstruktur zur Plug & Play-Verbindung von Mikrofluidik-Chips über Steckverbindungen aus Quarzglas.



1

MEDIENDICHTES SCHWEISSEN VON 50 µl REAKTIONSKAMMERN AUS TRANSPARENTEM PC

Aufgabenstellung

Ein in der Analytik und Mikrofluidik viel eingesetztes Bauteil ist ein Chip mit den Abmaßen 1,5 x 75 x 25 mm aus transparentem PC-, PP-, COC- oder COP-Kunststoff mit Kanalstrukturen. Die Kanäle werden beim Spritzgießprozess hergestellt, der Verschluss mit einem Deckel oder einer Folie erfolgt im nächsten Schritt üblicherweise durch Kleben. Auch Laserstrahlung wird seit ca. drei Jahren erfolgreich zum Verschweißen dieser Chips erprobt. Die Wellenlänge liegt dabei im Bereich von 2 µm, um die intrinsische Strahlungsabsorption transparenter Kunststoffe auszunutzen. Die Herausforderung besteht hier in der mediendichten und schadensfreien Verkapselung der Mikrokanäle. Zur Lokalisierung der Schmelzzone im Fügebereich wird eine kurzbrennweitige Fokussierung mit großem Divergenzwinkel bevorzugt, die allerdings kleine Fokustiefen besitzt und daher justierempfindlich ist.

Vorgehensweise

In einer Anpressvorrichtung wird der PC-Chip, der vier Reaktionskammern mit je 50 µl Volumen bei einem Querschnitt von 2,8 x 0,35 mm enthält, entlang der einzelnen Kammern

mit einem 1 mm dicken PC-Deckel verschweißt. Die Wellenlänge des Thulium-Faserlasers beträgt 1940 nm und die Brennweite der F-Theta-Fokussierlinse liegt bei 120 mm.

Ergebnis

Bei einer Laserleistung von 20 W werden die Nähte mit einem Galvanometerscanner bei $v = 15 \text{ mm/s}$ hergestellt. Die Fokustiefe des Laserstrahls beträgt $z_r = 1,5 \text{ mm}$ aufgrund des 5 mm großen Rohstrahldurchmessers, äquivalent zu einem Divergenzhalfwinkel von nur $\theta = 2,5 \text{ mm}/120 \text{ mm} = 21 \text{ mrad}$.

Anwendungsfelder

Mikrofluidikchips, die aufgrund ihrer komplexen Struktur nur geringe Kanalabstände aufweisen, können oft nicht dauerbetriebsfest verklebt werden, weil hohe Temperaturen die Dichtigkeit der Klebeverbindung gefährden. In diesen Fällen kann das Versiegeln mit NIR-Laserstrahlung erfolgen. Wenn der obere Fügepartner Materialdicken von etwa 1 mm aufweist, kann die Fokussierung mit langbrennweitigen Linsen und somit justierungsempfindlich erfolgen.

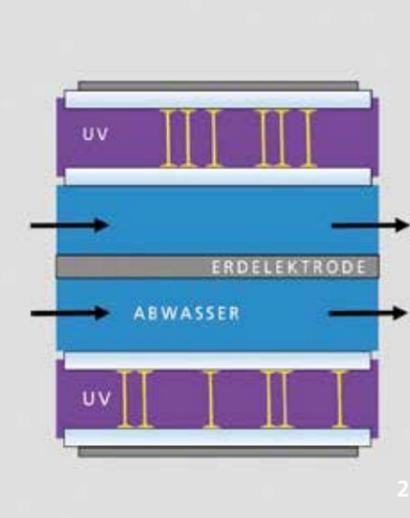
Die Arbeiten wurden im Rahmen des von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke e. V.« geförderten »AFRELAS«-Vorhabens unter dem Kennzeichen IGF-Nr. 19395 N durchgeführt.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Gerhard Otto
Telefon +49 241 8906-165
gerhard.otto@ilt.fraunhofer.de

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

1 Mediendicht verschweißter 4-Kanal-Reaktionskammerchip aus Polycarbonat, Kanäle je 50 µl, 50 mm x 2,8 mm x 350 µm.



2

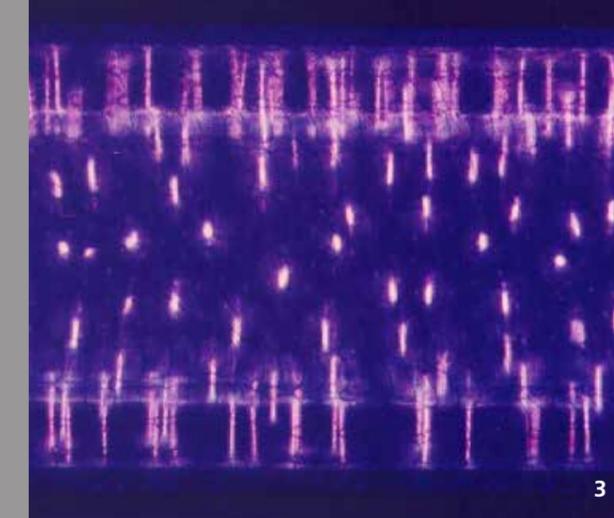
INNOVATIVES PLASMA-VERFAHREN ZUM ABBAU VON SCHADSTOFFEN IM ABWASSER

Aufgabenstellung

Die Belastung unserer Gewässer und damit auch die potenzielle Gefährdung unserer Trinkwasserversorgung durch heute nur schwer abbaubare Schadstoffe stellt neue Herausforderungen an innovative Verfahren zur Abwasserreinigung. Der Abbau von Schadstoffen, die resistent gegenüber dem biologischen Abbau im Belebungsverfahren sind, erfolgt heute erst in wenigen Kläranlagen durch Behandlung des Abwassers mit Ozon oder dem Einsatz von Aktivkohle.

Vorgehensweise

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft ISA der RWTH Aachen University wurden erste Experimente zum Abbau von Diclofenac (DCF) und dem Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure (ATZ) in einem neuen Verfahren mit kombinierter Plasma- und UV-Behandlung durchgeführt. Die in einem Reaktor gleichzeitige Beaufschlagung des Abwassers mit Reagenzien aus dem Plasma (Ozon, OH-Radikale) und UV-Strahlung (hier Excimerstrahlung bei 222 nm) stellt aufgrund der synergetischen Wirkung einen deutlich geringeren Energieverbrauch zum Abbau von Schadstoffen bei gleichzeitigem Verzicht auf chemische Substanzen in Aussicht. In einem Reaktor wird im elektrischen Feld der angelegten Hochspannung eine Kaskade von Plasmafilamenten in der UV-Kammer und der Kammer mit dem zu behandelnden Abwasser erzeugt (s. Bild 2).



3

Ergebnis

In ersten Experimenten konnte in einem Gemisch von DCF und ATZ eine Abbaurrate von 80 Prozent für ATZ bei einem hochgerechneten Energiebedarf von 4 kWh pro Kubikmeter Abwasser gezeigt werden. Dabei war die gleichzeitig bestimmte Abbaurrate von DCF deutlich größer bzw. der Energiebedarf für eine gleiche Abbaurrate von 80 Prozent deutlich geringer. Auf Basis der Daten aus den Vorexperimenten und des Optimierungspotenzials, z. B. bei den elektrischen Parametern oder der Reaktorgeometrie, scheint der angestrebte Zielwert von 0,2 kWh/m³ realistisch. Dieser Zielwert ergibt sich im Vergleich zur Abwasserreinigung mit Ozon, die derzeit Stand der Technik ist. Schadstoffe wie DFC oder ATZ werden hier nur mit einer deutlich geringeren Rate abgebaut.

Anwendungsfelder

Mögliche Einsatzgebiete dieses Verfahrens liegen in Kläranlagen oder dezentralen Einrichtungen von stark belastetem Abwasser.

Ansprechpartner

Dr. Klaus Bergmann
Telefon +49 241 8906-302
klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de

apl. Prof. Reinhard Noll
Telefon +49 241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

2 Schemabild zur Abwasserreinigung mit kaskadierter Barrierenentladung.
3 Koaxialer Reaktor mit Barrierenentladung.

LASERMESSTECHNIK UND EUV-TECHNOLOGIE



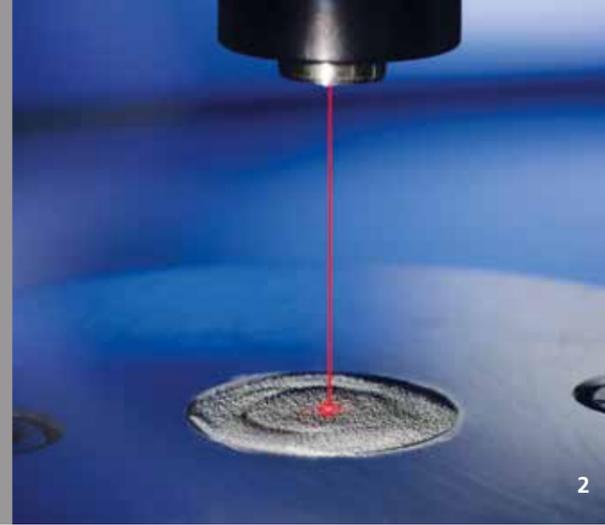
INHALT

»bd-1«-Sensorik für Inline-Messungen geometrischer Größen	100
Laser-Erkennung elektronischer Bauteile	101
Mobile Spektroskopie zur Analyse von Kohlenstoff in Stahl	102
Wellenleiter für die winkelaufgelöste Lichtstreuung	103
Gasentladungsplasma als Medium für XUV-Laser	104
Rigorese optische Simulationen im EUV für die Halbleitertechnik	105

*Optische Messungen an Knochenmodellen
für die Laserchirurgie.*



1



2



3



4

»bd-1«-SENSORIK FÜR INLINE-MESSUNGEN GEOMETRISCHER GRÖSSEN

Aufgabenstellung

Die berührungslose Inline-Messung geometrischer Größen eröffnet vielfältige Möglichkeiten zur Prozessführung und -optimierung bei der Bearbeitung metallischer Bauteile und Werkstoffe. Beispiele für solche inline zu bestimmenden Messgrößen sind: die Dicke von Walzblechen, die Einschweißtiefe beim Laserschweißen, die Höhe aufgetragener Spuren beim Laserauftragschweißen oder die Mikrotopografie von per Ultrakurzpuls-Laser erzeugten Strukturen. Das Fraunhofer ILT hat eine absolut-messende interferometrische Sensorik entwickelt, mit der diese Größen schnell und präzise ermittelt werden können. Untersucht werden soll, ob der Anwendungsbereich dieser Sensorik auf Inline-Messaufgaben für das LPBF-Verfahren (Laser Powder Bed Fusion) erweitert werden kann.

Vorgehensweise

Die entwickelte »bd-1«-Sensorik hat einen kompakten Messkopf mit bidirektionaler Strahlführung. Hin- und Rückstrahl verlaufen entlang derselben Linie. Die Wellenlänge der Messstrahlung ist so gewählt, dass sie koaxial zur Bearbeitungslaserstrahlung geführt werden kann. Die Messungen sind triggerbar und können mit dem Bearbeitungsprozessablauf synchronisiert werden. Messergebnisse stehen in Echtzeit für die Prozessregelung bereit.

- 1 Messkopf der »bd-1«-Sensorik.
- 2 Messung der Mikrotopografie eines Metallpulverbetts.

Ergebnis

Besondere Leistungsmerkmale sind die Messfrequenz von bis zu 70 kHz sowie eine Messgenauigkeit besser als 1 µm in einem Messbereich von 8 mm. Der Messstrahl wird relativ zu einer Pulverbett-Oberfläche bewegt, um die Mikrotopografie der gerakelten Pulverschüttung zu messen. Unterschiedliche Pulverformen des gleichen Werkstoffs führen zu variierenden lokalen Schüttdichten, welche mithilfe der »bd-1«-Sensorik erkannt und zur Prozessführung genutzt werden können.

Anwendungsfelder

Durch ihre kompakte Gestaltung lassen sich »bd-1«-Messköpfe leicht in Laserbearbeitungsanlagen wie LPBF integrieren. Der Arbeitsabstand beträgt bis zu einige hundert Millimeter. Damit können im Bearbeitungsfeld selektiv geometrische Größen in Echtzeit gemessen werden und zwar sowohl am Pulverbett als auch in der Schmelzzone und auf dem erstarrten Festkörper.

Ansprechpartner

Dr. Stefan Hölters
Telefon +49 241 8906-436
stefan.hoelters@ilt.fraunhofer.de

apl. Prof. Reinhard Noll
Telefon +49 241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

LASER-ERKENNUNG ELEKTRONISCHER BAUTEILE

Aufgabenstellung

Um in einem industriellen Prozess wertvolle Rohstoffe aus Alt-elektronik zurückzugewinnen, müssen elektronische Bauteile identifiziert werden, in denen diese in hohen Konzentrationen vorliegen. Diese chemische, bauteilbezogene Information ist in der Regel bei den marktgängigen elektronischen Geräten nicht verfügbar. Automatisierte Lösungen zur Erkennung von Bauteilen und zur Bewertung ihres Wertstoffgehalts sind nötig, um diese Teile gezielt zu entnehmen und in separaten Fraktionen aufzuarbeiten.

Vorgehensweise

Das Fraunhofer ILT koordiniert das europäische Verbundvorhaben »ADIR«, in dem technologische Lösungen erarbeitet werden, um die Wertstoffe effizient zurückzugewinnen. Hierzu werden automatisierte Verfahren entwickelt, die physikalische und chemische Eigenschaften wertvoller Baugruppen identifizieren und entsprechende Elektronik-elemente gezielt entnehmen können.

Ergebnis

Die berührungslose Erkennung der Inhaltsstoffe eines elektronischen Bauelements wird mit einem kombinierten Verfahren erreicht. Ein gepulster Laserstrahl durchdringt zunächst lokal die Gehäuse der Bauteile. Die anschließende Analyse der inneren Strukturen erfolgt mit dem Verfahren der Laser-Emissionsspektroskopie (LIBS). Dabei werden die Strahlengänge für Laseranregung und Detektion schnell und exakt auf einzelne

Positionen einer Elektronikplatine ausgerichtet. Hierdurch kann eine Vielzahl elektronischer Bauteile in kurzer Zeit untersucht werden. Die Positionen der zu untersuchenden Bauteile werden aus hochauflösenden zwei- und dreidimensionalen Bildern gewonnen. Die inline gemessenen Daten über Größe, Position und chemische Zusammensetzung werden schließlich zur Bewertung, gezielten Entnahme, Sortierung und anschließenden Aufbereitung verwendet. Die entwickelten Inspektionsverfahren wurden in einer Maschine zusammengefasst und miteinander verknüpft. Der ADIR-Demonstrator wird derzeit in Feldversuchen bei einem Recyclingunternehmen erprobt.

Anwendungsfelder

Die schnelle und berührungslose Analyse mit der Möglichkeit, ortsabhängige physikalische und chemische Größen inline zu erfassen, eröffnet einen neuen Datenraum sowohl für die Produktion als auch für die *inverse Produktion*. Das Anwendungspotenzial reicht von der Charakterisierung natürlicher Rohstoffe über die Qualitätsprüfung metallischer Bauteile und Halbzeuge bis hin zum Auffinden von Wertstoffen im Recycling.

Die Arbeiten werden im Rahmen des EU-Projekts »ADIR« unter dem Förderkennzeichen 680449 durchgeführt.

Ansprechpartner

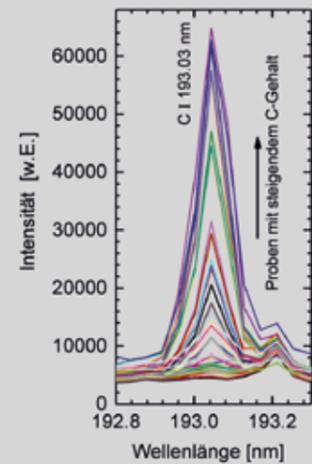
Dr. Cord Fricke-Begemann
Telefon +49 241 8906-196
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de

apl. Prof. Reinhard Noll
Telefon +49 241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

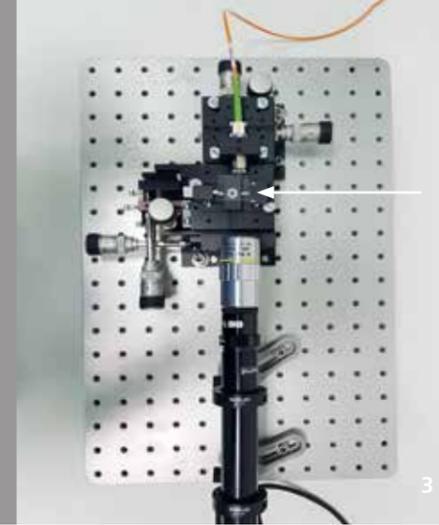
- 3 Messmaschine für das EU-Projekt »ADIR«.
- 4 Laserspektroskopische Messung an einer Platine eines Mobiltelefons.



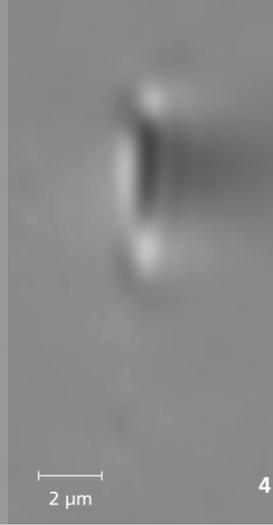
1



2



3



4

MOBILE SPEKTROSKOPIE ZUR ANALYSE VON KOHLENSTOFF IN STAHL

Aufgabenstellung

Für die Elementanalyse von Metallen mit mobilen Analysegeräten wie z. B. kabellosen Handgeräten soll das Verfahren und der konzeptionelle Aufbau für die Laser-Emissionsspektrometrie (LIBS) mit kleinen, hochintegrierten Komponenten entwickelt und die analytische Leistungsfähigkeit im Labor untersucht werden. Aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung und der technischen Herausforderungen liegt ein Hauptaugenmerk auf der Detektion von Kohlenstoff in Stahl. Ziel ist der Nachweis bis in den Bereich von 0,01 Prozent mit einem kompakten Aufbau für ein Handgerät.

Vorgehensweise

In enger Verknüpfung von Laserentwicklung und Messtechnik werden ein passiv gütegeschalteter Laser, die spektrale Detektion und die Führung der Laser- und Messstrahlung unter der Vorgabe eines mobilen Einsatzes entwickelt. Dabei spielen, neben der erreichbaren analytischen Leistungsfähigkeit, die Baugröße, das Gewicht und das Energiemanagement eine entscheidende Rolle. Die Kompromissfindung zwischen diesen Randbedingungen und den gegenläufigen Anforderungen an die spektrale Auflösung, die Inertgasatmosphäre am

Wechselwirkungsort sowie die Dauer, Empfindlichkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen sind Kernpunkte der Entwicklung. Die Parameter der LIBS-Detektion müssen so abgestimmt sein, dass die Kohlenstoff-Spektrallinie effektiv detektiert und der Nachweis geringer Gehalte dadurch möglich wird.

Ergebnis

In einem Laboraufbau mit optimierten Messparametern, dessen Kernkomponenten für ein mobiles System konzipiert sind, kann Kohlenstoff in Stahl detektiert werden. An Stahlproben mit Kohlenstoffgehalten im Bereich von 0,01 Prozent wird mit einer Laserrepetitionsrate von 1 kHz die Kohlenstofflinie bei 193 nm signifikant nachgewiesen.

Anwendungsfelder

Mobile Analysegeräte zur schnellen Elementanalyse von Metallen finden in der Metallerzeugung und -verarbeitung sowie in der Recyclingindustrie Verwendung. Mit kompakten, integrierbaren Messsystemen wird auch die kontinuierliche Überwachung von Produktionsprozessen oder Verwechslungsprüfungen sowie die Eingangskontrolle von Rohmaterialien oder Halbzeugen ermöglicht.

Dieses Projekt wird finanziell durch die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.

Ansprechpartner

Dr. Volker Sturm
Telefon +49 241 8906-154
volker.sturm@ilt.fraunhofer.de

Dr. Cord Fricke-Begemann
Telefon +49 241 8906-196
cord.fricke-begemann@ilt.fraunhofer.de

WELLENLEITER FÜR DIE WINKELAUFGELÖSTE LICHTSTREUUNG

Aufgabenstellung

Die winkelaufgelöste Messung des an Partikeln gestreuten Lichts erlaubt eine Bestimmung von Partikelgrößen und rudimentär auch von Partikelformen. Diese sogenannte statische Laserlichtstreuung analysiert Partikel mit einer Größe zwischen einigen 10 nm und mehreren 100 μm in Laborgeräten. Für inlinefähige, prozessanalytische Tauchsonden eignet sich das Verfahren bisher jedoch nicht. In einem Forschungsprojekt mit Partnern aus der Industrie entwickelt das Fraunhofer ILT eine kompakte, inlinefähige Tauchsonde für die Partikelanalytik, bei der das Streulicht winkelaufgelöst gemessen wird.

Vorgehensweise

Wellenleiter erfassen das an den Partikeln gestreute Licht winkelaufgelöst, sodass die Optik miniaturisiert und in eine Tauchsonde integriert werden kann. Die Wellenleiter werden mit einem Kurzpulslaser in Glas-Chips eingeschrieben. Eine CCD-Zeile an einer Außenfläche des Glas-Chips erfasst das durch die Wellenleiter geführte Streulicht.

Ergebnis

Wellenleiter werden mit verschiedenen Laserparametern geschrieben und anschließend auf ihre Einsetzbarkeit für die Streulichtführung untersucht. Zur Charakterisierung von Wellenleitern wurden verschiedene optische Messverfahren entwickelt. Neben der Transmissionsmikroskopie kommen

auch laserbasierte Verfahren zum Einsatz. Ein Teststand mit einer justierbaren Laserstrahlquelle und einer CCD-Kamera mit Mikroskopobjektiv visualisiert den durch den Wellenleiter geführten Laserstrahl. Mit einem Laser-Scanning-Mikroskop mit Detektion in Transmissionsrichtung können der Wellenleiter und seine direkte Nachbarschaft untersucht werden. So können auch Formen und Strukturen der Wellenleiter analysiert werden.

Anwendungsfelder

Mit der Streulichtsonde soll die Größe von Partikeln im Bereich von wenigen 10 nm bis zu vielen μm gemessen werden. Anwendungsfelder liegen beispielsweise in der Bioprozessanalytik und der chemischen Prozessanalytik. Wachstumsprozesse in Biofermentern oder die Partikelbildung in chemischen Kristallisationen sollen inline während eines laufenden Prozesses erfasst werden.

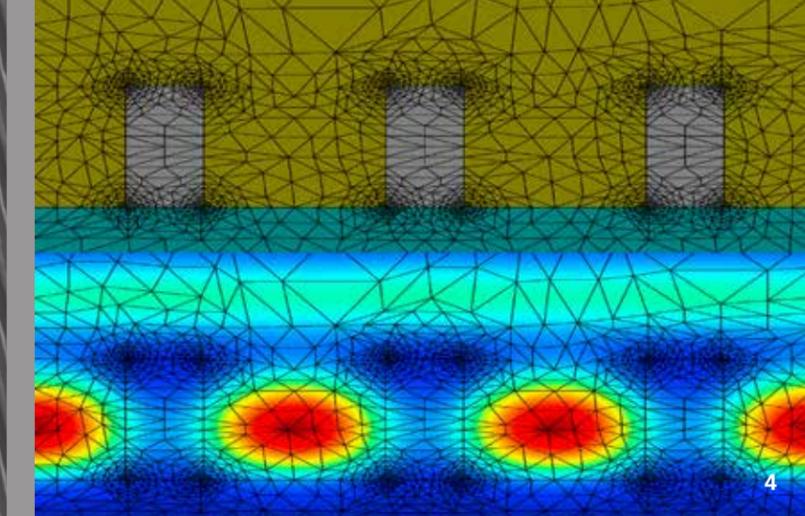
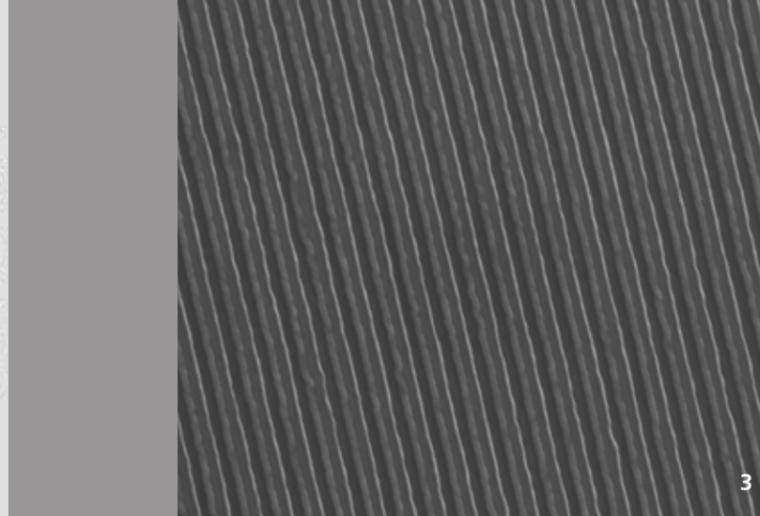
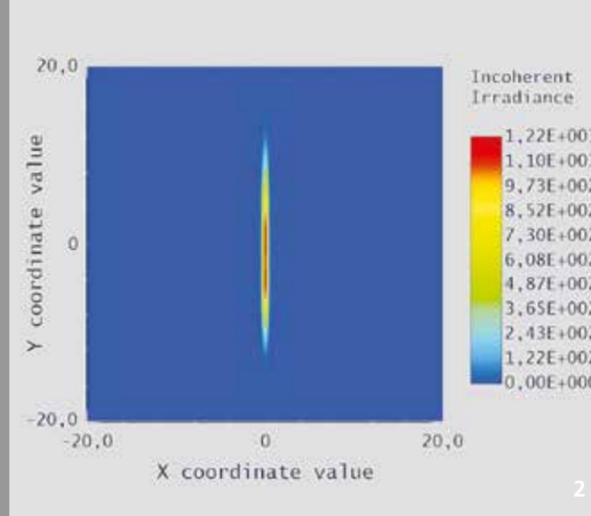
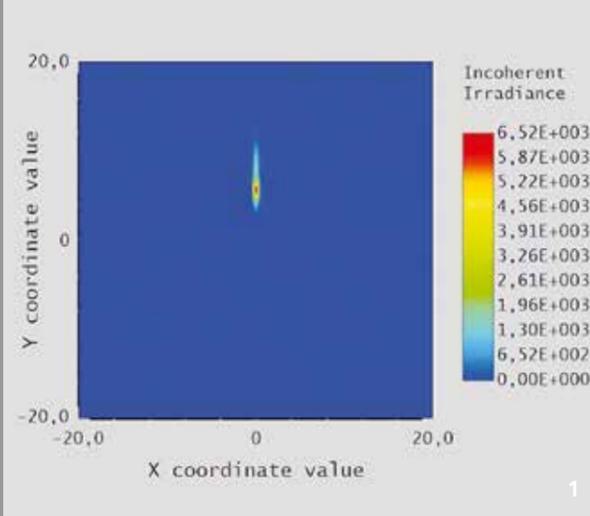
Das diesem Bericht zugrundeliegende FuE-Vorhaben wird im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF unter dem Förderkennzeichen 13N14176 durchgeführt.

Ansprechpartner

Dr. Christoph Janzen
Telefon +49 241 8906-8003
christoph.janzen@ilt.fraunhofer.de

apl. Prof. Reinhard Noll
Telefon +49 241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

- 3 Teststand zur Charakterisierung von Wellenleitern; der Pfeil markiert den Glas-Chip mit Wellenleitern.
- 4 Laser-Scanning-Mikroskopaufnahme eines laserstrukturierten Wellenleiters.



GASENTLADUNGSPLASMA ALS MEDIUM FÜR XUV-LASER

Aufgabenstellung

Dichte, heiße und zylinderförmige Plasmen mit hohem Aspektverhältnis von Länge zu Durchmesser sind von Interesse als Medium für verstärkte spontane Emission (ASE) oder für eine Brillanzoptimierung in axialer Beobachtungsrichtung. So wurden in der Vergangenheit an anderer Stelle Argon-basierte Gasentladungplasmen erfolgreich mit ASE bei 46,5 nm demonstriert. Dabei müssen Elektronendichten von $10^{18} - 10^{19}$ pro cm^3 bei Temperaturen im Bereich 50 - 200 eV erreicht werden. Am Fraunhofer ILT wird an Entladungskonzepten gearbeitet, bei denen solche Plasmen in Zukunft mit höherer Wiederholrate im Bereich mehrerer Kilohertz bei höherer mittlerer Strahlungsleistung langzeitstabil generiert werden können.

Vorgehensweise

Zur Erzeugung von Plasmen mit längerer axialer Ausdehnung von angestrebten mehreren Zentimetern wurde das Elektroden-system mithilfe eines bestehenden Gasentladungskonzeptes modifiziert. Auf diesem Konzept basierende Anlagen sind

Intensitätsverteilung der EUV-Emission:

- 1 ... im Elektroden-system für auf kurze Plasmen optimierte Geometrie (Kantenlänge 40 mm).
- 2 ... im Elektroden-system für längeren Entladungskanal (Kantenlänge 40 mm).

heute an vielen Stellen im kommerziellen Einsatz. Der gewählte Ansatz bietet die technischen Voraussetzungen, ASE-fähige Plasmen zu höheren Emissionsleistungen und Lebensdauern zu skalieren.

Ergebnis

Die typische Länge des Plasmas beträgt für eine Elektroden-geometrie nach dem Stand der Technik etwa 3 - 4 mm (s. Bild 1). Der Durchmesser liegt dabei zwischen 300 und 500 μm in axialer Beobachtungsrichtung. In einem ersten Schritt konnte mit einem modifizierten Elektroden-system die Länge auf etwa 20 - 30 mm gesteigert werden. Bild 2 zeigt entsprechend die rekonstruierte Intensitätsverteilung eines Argon-Plasmas. Aus den Emissionsspektren lassen sich Elektronendichte und Temperatur zu etwa 10^{18} pro cm^3 und 50 eV abschätzen, wodurch nach weiteren Optimierungsschritten die ASE-Bedingungen eingehalten werden können.

Anwendungsfelder

Mögliche Einsatzgebiete hochbrillanter, inkohärenter sowie teilweise kohärenter (ASE) Strahlungsplasmen im Spektralbereich des extremen Ultraviolett (XUV) liegen in der Mikros-kopie oder Strukturierung auf der Nanometerskala wie zum Beispiel bei der Maskeninspektion in der zukünftigen Halbleiterproduktion.

Ansprechpartner

Dr. Klaus Bergmann
Telefon +49 241 8906-302
klaus.bergmann@ilt.fraunhofer.de

apl. Prof. Reinhard Noll
Telefon +49 241 8906-138
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

RIGOROSE OPTISCHE SIMULATIONEN IM EUV FÜR DIE HALBLEITERTECHNIK

Aufgabenstellung

Die Metrologie an nanoskaligen Gittern der Halbleitertechnik erfordert aufgrund steigender Komplexität und kleiner werdender Strukturabmessungen unterhalb von 100 nm die Anwendung neuer, leistungsstärkerer Messverfahren. EUV-Strahlung bietet vielversprechende Kontraste bei der Untersuchung nanoskaliger Gitter, deren Strukturabmessungen in der gleichen Größenordnung oder unterhalb der Wellen-länge der Messstrahlung liegen. Von Vorteil sind die kürzeren Wellenlängen und eine größere Licht-Materie-Wechselwirkung im Vergleich zu Verfahren, die im UV- oder VIS-Bereich arbeiten.

Vorgehensweise

Um Resultate der EUV-Metrologie adäquat interpretieren zu können, erfolgt mithilfe rigoroser optischer Modelle eine voll-ständige Simulation der Wechselwirkung der EUV-Strahlung mit untersuchten nanoskaligen Gittern. Dabei werden zwei unterschiedliche Simulationsverfahren angewendet: RCWA (Rigorous Coupled Wave Analysis) und FEM (Finite-Elemente-Methode), die je nach Aufbau der untersuchten Gitter eine kürzere Rechenzeit bieten und/oder genauere Ergebnisse liefern.

Ergebnis

Durch rigorose optische Simulationen können sowohl das optische Nahfeld als auch das Fernfeld eines nanoskaligen Gitters bei Beleuchtung mit EUV-Strahlung berechnet werden. Werden diese Ergebnisse mit realen Messwerten verglichen, so kann eine genaue Rekonstruktion sowohl der Struktur- als auch der Materialparameter der untersuchten Gitter erfolgen.

Anwendungsfelder

Anwendungen der EUV-Metrologie liegen im Bereich der unterstützenden Messtechnik für die Halbleiterproduktion, da dort leistungsstarke Messverfahren für stetig komplexer werdende Strukturen und kleinere Strukturabmessungen gefragt sind.

Ansprechpartner

Lukas Bahrenberg M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8326
lukas.bahrenberg@ilt.fraunhofer.de

Dr. Serhiy Danylyuk
Telefon +49 241 8906-525
serhiy.danylyuk@ilt.fraunhofer.de

- 3 REM-Aufnahme nanoskaliger Testgitter.
- 4 Simulierte optische Nahfeldverteilung im EUV.

NETZWERKE UND CLUSTER

*»Zusammenkommen ist ein Beginn,
Zusammenbleiben ein Fortschritt,
Zusammenarbeiten ein Erfolg.«*

Henry Ford

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT AUF EINEN BLICK

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 72 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 26 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,6 Milliarden Euro. Davon fallen 2,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei.

Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

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

DIE FORSCHUNGSGEBIETE

Auf diese Gebiete konzentriert sich die Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft:

- Werkstofftechnik, Bauteilverhalten
- Produktionstechnik, Fertigungstechnologie
- Informations- und Kommunikationstechnik
- Mikroelektronik, Mikrosystemtechnik
- Sensorsysteme, Prüftechnik
- Verfahrenstechnik
- Energie- und Bautechnik, Umwelt- und Gesundheitsforschung
- Technisch-Ökonomische Studien, Informationsvermittlung



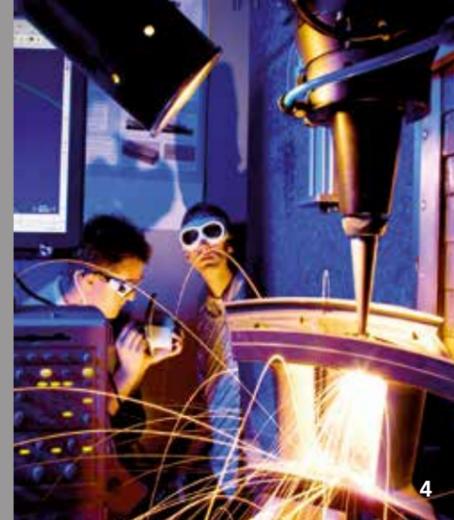
1



2



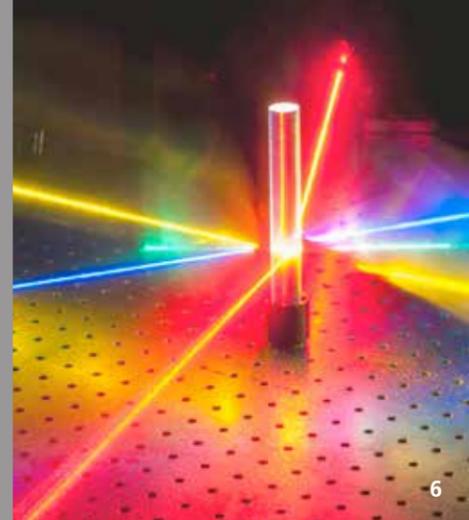
3



4



5



6

FRAUNHOFER-VERBUND LIGHT & SURFACES

Kompetenz durch Vernetzung

Im Fraunhofer-Verbund »Light & Surfaces« kooperieren sechs Fraunhofer-Institute auf den Gebieten Laser-, Optik-, Mess- und Beschichtungstechnik. Basierend auf grundlegenden Arbeiten in verschiedenen Anwendungsfeldern gewährleistet der Verbund eine schnelle und flexible Realisierung kundenspezifischer Systemlösungen in diesen Bereichen. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Markts ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten für den Kunden. In Kooperation mit den jeweils ortsansässigen Universitäten bieten die Institute das gesamte Spektrum der studentischen Ausbildung bis hin zur Promotion. Auf diese Weise sind die Fraunhofer-Institute nicht nur Innovationspartner für technologische Entwicklungen, sondern dienen auch kontinuierlich als Quelle des wissenschaftlich-technischen Nachwuchses. www.light-and-surfaces.fraunhofer.de

Kontakt

- Prof. Reinhart Poprawe (Vorsitzender)
reinhart.poprawe@ilt.fraunhofer.de
- Dr. Arnold Gillner (Geschäftsführer)
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

1 Fraunhofer IWS

2 Fraunhofer IOF

3 Fraunhofer FEP

4 Fraunhofer ILT

5 Fraunhofer IST

6 Fraunhofer IPM

Kernkompetenzen des Verbunds

Die aufeinander abgestimmten Kompetenzen der sechs Verbundpartner gewährleisten eine schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an die unterschiedlichen Anforderungen aus den Bereichen:

- Laserfertigungsverfahren
- Strahlquellen
- Messtechnik
- Medizin und Life Sciences
- Werkstofftechnik
- Optische Systeme und Optikfertigung
- Mikro- und Nanotechnologie
- Dünnschichttechnik
- Plasmatechnik
- Elektronenstrahltechnik
- EUV-Technologie
- Prozess- und Systemsimulation

DIE INSTITUTE

Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Das Fraunhofer FEP arbeitet an innovativen Lösungen im Bereich der Vakuumbeschichtung, der Oberflächenbearbeitung und -behandlung mit Elektronen und Plasmen sowie an Technologien für flexible, organische Elektronik. Grundlage dieser Arbeiten sind die Kernkompetenzen Elektronenstrahl-technologie, Sputtern, plasmaaktivierte Hochratebedampfung und Hochrate-PECVD sowie Technologien für organische Elektronik und IC-/Systemdesign. Die Technologien und Prozesse finden Anwendung im Maschinenbau, im Transportwesen, in der Biomedizintechnik, in der Architektur und für den Kulturguterhalt, in der Verpackungsindustrie, im Bereich Umwelt und Energie, der Optik, Sensorik und Elektronik sowie in der Landwirtschaft. www.fep.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Mit über 540 Mitarbeitern ist das Fraunhofer ILT ein gefragter FuE-Partner der Industrie für die Entwicklung innovativer Laserstrahlquellen, Laserverfahren und Lasersysteme. Unsere Technologiefelder umfassen Laser und Optik, Lasermesstechnik, Medizintechnik und Biophotonik sowie Lasermaterialbearbeitung. Hierzu zählen u. a. das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie die Oberflächenbearbeitung, die Mikrofertigung und die Additive Fertigung. Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Prozessüberwachung und -regelung, Modellierung sowie der gesamten Systemtechnik. www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Das Fraunhofer IOF entwickelt innovative optische Systeme zur Kontrolle von Licht – von der Erzeugung und Manipulation bis hin zu dessen Anwendung. Unser Leistungsangebot umfasst die gesamte photonische Prozesskette vom optomechanischen und opto-elektronischen Systemdesign bis zur Herstellung von kundenspezifischen Lösungen und Prototypen. Das Institut ist in den fünf Geschäftsfeldern Optische Komponenten und Systeme, Feinmechanische Komponenten und Systeme, Funktionale Oberflächen und Schichten, Photonische Sensoren und Messsysteme sowie Lasertechnik aktiv. www.iof.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Das Fraunhofer IPM entwickelt maßgeschneiderte Messtechniken, Systeme und Materialien für die Industrie. Dadurch ermöglicht das Institut seinen Kunden, den Energie- und Ressourceneinsatz zu minimieren und gleichzeitig Qualität und

Zuverlässigkeit zu maximieren. Das Fraunhofer IPM macht Prozesse ökologischer und gleichzeitig ökonomischer. Langjährige Erfahrungen mit optischen Technologien und funktionalen Materialien bilden die Basis für Hightech-Lösungen in der Produktionskontrolle, der Objekt- und Formerfassung, der Gas- und Prozesstechnologie sowie im Bereich der thermischen Energiewandler. www.ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST

Das Fraunhofer IST bietet als innovativer FuE-Partner Lösungen in der Oberflächentechnik, die gemeinsam mit Kunden aus Industrie und Forschung erarbeitet werden. Das »Produkt« ist die Oberfläche, die durch Modifizierung, Strukturierung und/oder Beschichtung für Anwendungen primär in den folgenden Geschäftsfeldern optimiert wird: Maschinenbau, Werkzeuge und Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt, Energie und Elektronik, Optik, Life Sciences und Umwelt. Die Kompetenzen des Fraunhofer IST in der Schichtherstellung und Schichtenanwendung werden unterstützt durch eine entsprechende Schicht- und Oberflächenanalytik sowie durch die Simulation der vakuumbasierten Beschichtungsprozesse. www.ist.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Licht und Schicht: Das Fraunhofer IWS wirkt überall dort, wo Laser- auf Oberflächentechnik trifft. Wenn es darum geht, unterschiedliche Materialien Lage um Lage aufzutragen, zu fügen, zu trennen, zu funktionalisieren oder zu analysieren, kommt das Dresdner Institut ins Spiel. Von der Entwicklung neuer Verfahren über die Integration in die Fertigung bis hin zur anwendungsorientierten Unterstützung reicht das Angebot – alles aus einer Hand. Das Fraunhofer IWS stellt sich den Herausforderungen der Digitalisierung. Der Fokus liegt auf der Forschung und Entwicklung von Lösungen für »Industrie 4.0«. www.iws.fraunhofer.de

STRATEGISCHE FRAUNHOFER-PROJEKTE



Kick-off des Fraunhofer-Leitprojekts »futureAM« in Aachen.

FRAUNHOFER-LEITPROJEKT »futureAM«

Mit »futureAM« treibt die Fraunhofer-Gesellschaft die Weiterentwicklung der Additiven Fertigung metallischer Bauteile systematisch voran. Dazu sind sechs erfahrene Institute im Bereich der Additiven Fertigung eine strategische Projektpartnerschaft eingegangen:

- Fraunhofer-Einrichtung für Additive Produktionstechnologien IAPT, Hamburg
- Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bremen
- Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, Darmstadt
- Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen
- Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden
- Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Chemnitz

Strategische Ziele der Projektpartnerschaft

1. Aufbau einer übergreifenden Kooperationsplattform für die hochintegrierte Zusammenarbeit und die Nutzung der dezentral verteilten Ressourcen der Fraunhofer-Gesellschaft im Bereich Additive Manufacturing (AM)
2. Schaffung der technologischen Voraussetzungen für eine praxisrelevante Steigerung von Skalierbarkeit, Produktivität und Qualität von AM-Prozessen für die Fertigung individualisierter Metallbauteile

Handlungsfelder

Zur Sicherung der Technologieführerschaft wird die Additive Fertigung systematisch in vier Handlungsfeldern, die von jeweils einem Institut koordiniert werden, weiterentwickelt:

- Industrie 4.0 und digitale Prozesskette
- Skalierbare und robuste AM-Prozesse
- Werkstoffe
- Systemtechnik und Automatisierung

Beispiele für die ambitionierten Projektziele in den vier Handlungsfeldern sind eine neuartige Software zur automatisierten AM-Bauteilidentifikation und -optimierung, ein skalierbares SLM-Anlagenkonzept mit Produktivitätssteigerung (Faktor > 10), ein Verfahren sowie eine Systemtechnik zur Erzeugung orts aufgelöster, maßgeschneiderter Multi-Materialeigenschaften und eine autonome Fertigungszelle für die Nachbehandlung von AM-Bauteilen.

Die intensive Zusammenarbeit in den vier Handlungsfeldern wird durch den Aufbau eines »Virtual Lab«, der die Kompetenzen und Ressourcen der Projektpartner digital abbildet, ergänzt. Hieraus werden unter Beteiligung aller Projektpartner Technologiedemonstratoren entwickelt.

Ansprechpartner und Gesamtkoordinator

Prof. Johannes Henrich Schleifenbaum
Telefon +49 241 8906-398
johannes.henrich.schleifenbaum@ilt.fraunhofer.de

Weitere Informationen unter:
www.futuream.fraunhofer.de

FRAUNHOFER-LEITPROJEKT »QUILT«

Die zweite Quantenrevolution

Die Quantenmechanik eröffnet der Welt den Zugang zu Molekülen, Atomen und sub-atomaren Bausteinen. Die Kenntnis der Quantenmechanik führte in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zur Entwicklung der modernen Elektronik und Kommunikation. Milliarden elektronischer Transistoren durchdringen Lebens- und Arbeitswelten, ob als Computer, Smartphones aber auch als Steuersysteme moderner Autos und unscheinbarer Küchengeräte. Photonen und optische Systeme vernetzen unsere Welt bis in den letzten Winkel. Die Quantenphysik ist die Basis vieler moderner Technologien. So sind Halbleiter- und Lasertechnik ein Ergebnis der ersten Generation von Quantentechnologien.

Ein radikal neues Paradigma rückt zunehmend in den Fokus der Quantenphysik: wurden bisher Eigenschaften kollektiver Quantensysteme verwendet, können nun einzelne Quantenzustände präpariert, gesteuert und genutzt werden. Insbesondere im Bereich des Quantenimaging ist die Fraunhofer-Gesellschaft mit ihren Instituten und Partnern aus Wissenschaft und Industrie exzellent aufgestellt.

Quantenoptische Anwendungsforschung

Das Fraunhofer-Leitprojekt »QUILT« (Quantum Methods for Advanced Imaging Solutions) bündelt hervorragende wissenschaftliche Expertise, Technologieplattformen und große Marktkenntnis von sechs Fraunhofer-Instituten, darunter das Fraunhofer ILT, mit der wissenschaftlichen Exzellenz weltweit führender quantentechnologischer Einrichtungen wie dem

Institut für Quantenoptik und Quanteninformation (IQOQI) der österreichischen Akademie der Wissenschaften und dem Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts (MPG MPL).

Mission des QUILT-Projekts

1. Originäre wissenschaftliche Beiträge zu drei Forschungsdomänen des Quantum Imagings zu liefern und fünf exzellente Leitexperimente durchzuführen.
2. Die hervorragenden Technologieplattformen seiner Partner so zu vernetzen und zu adaptieren, dass es Technologieführerschaft in vier Quanten-Schlüsseltechnologien erreicht.
3. Die Quantentechnologien als interdisziplinäres Exzellenzfeld in der Fraunhofer-Gesellschaft zu etablieren und dieses in einem offenen und lebendigen Forscherkolleg zu verankern.
4. Die Fraunhofer-Gesellschaft zum wichtigsten Player in der quantenoptischen Anwendungsforschung zu machen, ihr eine starke Präsenz in allen wichtigen Förderinitiativen zu sichern, neue Anwendungsfelder zu erschließen und innovative Lösungen mit Quanten für globale Industrien zu entwickeln.

Im Oktober 2017 startete das Leitprojekt QUILT. Die beteiligten Institute sind das Fraunhofer IOF (Koordinator), Fraunhofer ILT, IMS, IOSB, IPM und das Fraunhofer ITWM.

Ansprechpartner im Fraunhofer ILT

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

Florian Elsen M.Sc.
Telefon +49 241 8906-224
florian.elsen@ilt.fraunhofer.de

Quelle und weiterführende Informationen im Internet unter: www.iof.fraunhofer.de/quilt

FRAUNHOFER-ALLIANZEN UND LEISTUNGSZENTREN

FRAUNHOFER-ALLIANZEN

Institute oder Abteilungen von Instituten mit unterschiedlichen Kompetenzen kooperieren in Fraunhofer-Allianzen, um ein industrierelevantes Geschäftsfeld gemeinsam zu bearbeiten und zu vermarkten. Das Fraunhofer ILT engagiert sich in den nachfolgenden sieben Fraunhofer-Allianzen:

- Batterien
- Generative Fertigung
- Leichtbau
- Nanotechnologie
- Numerische Simulation von Produkten, Prozessen
- Space
- SysWasser

LEISTUNGSZENTREN

Leistungszentren organisieren den Schulterschluss der universitären und außeruniversitären Forschung mit der Wirtschaft und zeichnen sich durch verbindliche, durchgängige Roadmaps der beteiligten Partner in den Bereichen Forschung und Lehre, Nachwuchsförderung, Infrastruktur, Innovation und Transfer aus. Sie sind ein Angebot an die Politik, wissenschaftliche Exzellenz mit gesellschaftlichem Nutzen prioritär zu entwickeln. Das Fraunhofer ILT ist an dem Leistungszentrum »Vernetzte Adaptive Produktion«, das vom Aachener Fraunhofer IPT koordiniert wird und eines von bundesweit 15 Leistungszentren der Fraunhofer-Gesellschaft ist, beteiligt.

Fraunhofer-Leistungszentrum »Vernetzte Adaptive Produktion« in Aachen

Der Schwerpunkt dieses Leistungszentrums liegt in der Entwicklung, systematischen Einführung und Nutzung moderner Digitalisierungstechnologien für zukunftsfähige, industrielle Produktionssysteme und Wertschöpfungsketten im Sinne von »Industrie 4.0«. Im Rahmen eines übergreifenden FuE-Moduls »Digitalisierung und Vernetzung« erarbeitet das Leistungszentrum in den Themenfeldern »Smart Manufacturing Plattform«, »Big Data«, »Adaptive Prozesskette« und »Prozesssimulation und Modellierung« das Konzept der vollständig vernetzten, adaptiven Produktion. Alle Entwicklungen werden in sechs Pilotlinien in den Bereichen Energie, Mobilität und Gesundheit anhand repräsentativer Prozessketten validiert und demonstriert. Die Anbindung an das Fraunhofer Cloud System »Virtual Fort Knox« stellt hierbei eine neutrale und sichere Plattform zur Speicherung der Produktionsdaten und Ausführung von Webservices zur Analyse und Optimierung der Prozessketten dar. Die enge Zusammenarbeit mit namhaften Industrieunternehmen stellt die Übertragbarkeit in ein industrielles Umfeld sicher.

Aufgabe des Leistungszentrums ist es, in einem Zeitraum von drei Jahren eine offene Forschungsplattform und Testumgebung für die Industrie zu entwerfen, in der neue Konzepte einer digitalisierten Produktion erforscht und praxisnah erprobt werden können. Das Fraunhofer ILT deckt die folgenden Schwerpunkte ab:

- Digitale Prozesskette für die laserbasierte Reparatur von Turbomaschinenkomponenten
- Vernetzung konventioneller und laserbasierter Prozesse im Werkzeugbau
- Modellbasierte Prozessentwicklung und -bewertung flexibler Verschaltungskonzepte für die Batteriemodulfertigung mittels Laserstrahlschweißen



Roboterbasierte Additive Fertigung mit Laser Material Deposition.

»ICNAP« – Internationale Community zur Entwicklung von Anwendungen und Technologien für die Industrie 4.0

Ziel der Arbeiten innerhalb der Community des International Center for Networked, Adaptive Production (ICNAP) ist es, anspruchsvolle Wertschöpfungsketten zur Herstellung komplexer und individualisierter Produkte deutlich flexibler und effizienter zu gestalten.

Das ICNAP stellt eine Verstärkung der Forschungsarbeiten im Leistungszentrum unter aktiver Beteiligung der Industrie dar. Leistungsstarke Partner aus den Bereichen IT-Systemanbieter, Anlagenhersteller sowie produzierende Unternehmen haben bereits ihre weitere Mitarbeit zugesagt.

Die Herausforderung liegt dabei nicht in der reinen Weiterentwicklung von Fertigungsverfahren. Vielmehr sollen die Möglichkeiten der Digitalisierung und Vernetzung für unterschiedlichste technische Produkte, Prozesse und Unternehmensnetzwerke demonstriert und validiert werden.

Ansprechpartner im Fraunhofer ILT

Dr. Alexander Olowinsky
Telefon +49 241 8906-491
alexander.olowinsky@ilt.fraunhofer.de

Weitere Informationen unter:
www.vernetzte-adaptive-produktion.de

ICTM AACHEN

ICTM – International Center for Turbomachinery Manufacturing

Die Fraunhofer-Institute für Produktionstechnologie IPT und Lasertechnik ILT sowie das Werkzeugmaschinenlabor WZL und der Lehrstuhl für Digital Additive Production DAP der RWTH Aachen starteten am 28. Oktober 2015 in Aachen mit 19 renommierten Industriepartnern das »International Center for Turbomachinery Manufacturing – ICTM«.

Zu den zur Zeit 32 Industriepartnern des Netzwerks zählen große und mittelständische Unternehmen aus den Bereichen Turbomaschinenbau, Maschinenbau, Automatisierungs- und Zerspanungstechnik sowie Additive Fertigung. Im Mittelpunkt des Centers stehen Forschung und Entwicklung rund um die Fertigung und Reparatur von Turbomaschinenkomponenten, welche durch die Partner in allen Bereichen abgedeckt werden. Das Forschungszentrum wurde ohne jegliche staatliche Förderung gegründet und gehört damit zu den wenigen selbstständigen Netzwerken, die aus den Fraunhofer-Innovationsclustern »TurPro« und »ADAM« hervorgingen. Der zehnköpfige Lenkungskreis besteht aus Vertretern der beteiligten Industrieunternehmen und Forschungsinstitute.

Ansprechpartner im Fraunhofer ILT

Dr. Andres Gasser
Telefon +49 241 8906-209
andres.gasser@ilt.fraunhofer.de

Weitere Informationen unter: www.ictm-aachen.com

FRAUNHOFER CLUSTER OF EXCELLENCE

CLUSTER OF ADVANCED PHOTON SOURCES CAPS

Mit dem Fraunhofer Cluster of Excellence »Advanced Photon Sources CAPS« startete die Fraunhofer-Gesellschaft im Mai 2018 ein ambitioniertes Vorhaben. Das Ziel ist die internationale Technologieführerschaft bei Lasersystemen, die mit ultrakurzen Pulsen (UKP) höchste Leistungen erreichen, sowie die Erforschung von deren Einsatzpotenzialen im Verbund mit Fraunhofer-Partnern. Die neuen Systeme sollen alle bisherigen UKP-Laser um eine Größenordnung in der mittleren Laserleistung übertreffen. Gleichzeitig wird an der erforderlichen Systemtechnik sowie an möglichen Anwendungen in Industrie und Forschung gearbeitet.

CAPS – ein starkes Fraunhofer-Netzwerk

Die Kick-off-Veranstaltung am 2. Mai 2018 in Aachen markierte den Beginn eines außergewöhnlichen Vorhabens. Prof. Reinhart Poprawe, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT, gab gemeinsam mit Prof. Andreas Tünnermann, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, den Start des Fraunhofer Clusters of Excellence Advanced Photon Sources CAPS bekannt.

13 Fraunhofer-Institute entwickeln in den kommenden Jahren gemeinsam eine neue Generation extrem leistungsstarker Ultrakurzpulslaser, neue Ansätze zur Systemtechnik sowie deren Applikation für Industrie und Forschung. Neue Anwendungsbereiche sollen erschlossen werden, ultrapräzise Fertigungsverfahren im industriellen Umfeld skaliert und neue Pulsdauer- und Wellenlängenbereiche für die Forschung bereitgestellt werden.

UKP-Laser für hochpräzise Anwendungen

UKP-Laser erzeugen im Fokus selbst bei vergleichsweise kleinen Pulsenergien extrem hohe Intensitäten. Lange Zeit wurden sie lediglich in der Grundlagenforschung eingesetzt. Die Entwicklung hocheffizienter, leistungsstarker Pumpdioden ermöglichte die Nutzung neuer Lasermedien, insbesondere von Ytterbium-dotierten Fasern und Kristallen. Darauf basierende UKP-Laser haben in den letzten Jahren mittlere Laserleistungen und eine Robustheit erreicht, die auch für industrielle Anwendungen genutzt werden kann.

Für Anwendungen in der Mikromaterialbearbeitung haben UKP-Laser zwei wesentliche Vorteile: Einerseits können sie praktisch alle Materialien bearbeiten. Andererseits ist der Abtrag besonders präzise und dadurch schonend, da durch die ultraschnelle Wechselwirkung kaum Wärme im angrenzenden Material verbleibt. Deshalb waren diese Laser schon früh für die Medizintechnik interessant, beispielsweise für Augenoperationen mit Hilfe des Femto-LASIK-Verfahrens.

Advanced Photon Sources – UKP-Laser mit Strahlleistungen im kW-Bereich

Im Hinblick auf wirtschaftlich vertretbare Bearbeitungsgeschwindigkeiten beim Schneiden von ultraharten Keramikmaterialien und faserverstärkten Kunststoffen reicht die Leistung aktueller UKP-Laser der 100 W-Klasse oft nicht aus. Getrieben durch die Anwendungspotenziale in der Industrie und den Bedarf der Grundlagenforschung, haben sich die Partner des Clusters zum Ziel gesetzt, die mittlere Leistung der UKP-Quellen an den Fraunhofer-Instituten ILT und IOF bis in den 10 kW-Bereich zu erhöhen.



Die Koordinatoren: Cluster-Leiter Prof. Reinhart Poprawe, Fraunhofer ILT (vorne, 2.v.re.), und Prof. Andreas Tünnermann, Fraunhofer IOF (vorne, 2.v.li.).

Applikationslabore für Industrie und Wissenschaft

An den beiden Fraunhofer-Instituten ILT und IOF wurden bereits 2018 Applikationslabore eingerichtet, um frühzeitig mit der Entwicklung der Systemtechnik und innovativen Anwendungen beginnen zu können. Der 2018 gegründete Fraunhofer-Cluster of Excellence CAPS steht allen Fraunhofer-Instituten offen. Die Applikationsentwicklung zielt darauf ab, neue Prozesse zu untersuchen und bekannten Verfahren zu industriell relevanten Durchsätzen zu verhelfen. Die Beispiele reichen von der Mikrostrukturierung und Oberflächenfunktionalisierung von Solarzellen, ultraharten Keramiken und Batteriekomponenten bis hin zum Schneiden von Gläsern und Leichtbaumaterialien.

Neben Durchbrüchen in der ultrapräzisen Fertigung mit hoher Produktivität ist mit den neuen Laserquellen auch die Erzeugung kohärenter Strahlung bis in den weichen Röntgenbereich geplant. Die anvisierten Photonenflüsse liegen um zwei bis drei Größenordnungen über den bisher erreichten. Damit sollen in den Materialwissenschaften Anwendungen wie die Generierung und Untersuchung neuartiger Materialien etabliert werden. Darüber hinaus ergeben sich neue Möglichkeiten für den Halbleiterbereich, die Lithographie oder die Bildgebung biologischer Proben.

Auch für die Grundlagenforschung ist die Skalierung der Laserleistung interessant. Perspektivisch werden Laserteilchenbeschleuniger wesentlich kompakter und können dadurch sogar in bestehende Labore integriert werden. Zudem können diese sogenannten »secondary sources« auch Gebiete wie die Materialforschung und Medizintechnik maßgeblich beflügeln.

Die Synergien zwischen den Fraunhofer-Instituten machen es möglich, sowohl die Strahlquellen als auch die Prozesstechnik und viele Anwendungen auf internationalem Spitzenniveau zu entwickeln. Partner aus Industrie und Forschung erhalten darauf Zugriff. Die Verfügbarkeit derartiger Hochleistungs-Ultrakurzpulslaser bietet die Chance, den Innovationsprozess in der Laserbranche systematisch voranzutreiben.

Ansprechpartner im Fraunhofer ILT

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hoffmann
Telefon +49 241 8906-206
hansdieter.hoffmann@ilt.fraunhofer.de

Gesamtkoordination

Prof. Reinhart Poprawe
Telefon +49 241 8906-109
reinhart.poprawe@ilt.fraunhofer.de

Prof. Andreas Tünnermann (Stellvertreter)
Telefon +49 3641 807-201
andreas.tuennermann@iof.fraunhofer.de

Quelle und weiterführende Informationen
im Internet unter: www.caps.fraunhofer.de

LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN UNIVERSITY



GEMEINSAM ZUKUNFT GESTALTEN

Die RWTH Aachen University bietet mit den Lehrstühlen für Lasertechnik LLT, für Technologie Optischer Systeme TOS und für Digital Additive Production DAP sowie den Lehr- und Forschungsgebieten für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD und für Experimentalphysik des Extrem-Ultraviolett EUV ein herausragendes Kompetenzcluster im Bereich der Optischen Technologien. Dies ermöglicht eine überkritische Bearbeitung grundlegender und anwendungsbezogener Forschungsthemen. Die enge Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT erlaubt nicht nur industrielle Auftragsforschung auf der Basis solider Grundlagenkenntnisse sondern führt vielmehr zu neuen Impulsen in der Weiterentwicklung von optischen Verfahren, Komponenten und Systemen. Unter einem Dach werden die Synergien von Infrastruktur und Know-how aktiv genutzt.

Dies kommt insbesondere dem wissenschaftlichen und technischen Nachwuchs zugute. Die Kenntniss der aktuellen industriellen und wissenschaftlichen Anforderungen in den Optischen Technologien fließt unmittelbar in die Gestaltung der Lehrinhalte ein. Darüber hinaus können Studenten und Promovierende über die Projektarbeit in den Lehrstühlen und im Fraunhofer ILT ihre theoretischen Kenntnisse in die Praxis umsetzen. Auch die universitäre Weiterbildung wird gemeinsam gestaltet. Lehre, Forschung und Innovation – das sind die Bausteine, mit denen die fünf Lehrstühle und das Fraunhofer ILT Zukunft gestalten.

Lehrstuhl für Lasertechnik LLT

Der Lehrstuhl für Lasertechnik ist seit 1985 an der RWTH Aachen University in der Grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung in den Bereichen Lasermesstechnik, Strahlquellenentwicklung, Füge- und Trennverfahren sowie Digital Photonics tätig.

Ein großer Teil der Forschungsaktivitäten wird im Rahmen einiger Großprojekte bearbeitet, wie z. B. dem Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«, dem BMBF-Forschungscampus »Digital Photonic Production« und dem DFG-Sonderforschungsbereich 1120 »Präzision aus Schmelze«. Der Lehrstuhl LLT ist zudem auch Koordinator des aktuell im Bau befindlichen »Research Center for Digital Photonic Production«.

Aktuelle Forschungsthemen:

- Wechselwirkung von Ultrakurzpuls-Laserstrahlung mit dem zu bearbeitenden Material beim Abtragen, Modifizieren, Bohren oder Schmelzen
- Zukünftige Konzepte für Strahlquellen, wie z. B. direkt-diodengepumpte Alexandrit-Laser oder die Erzeugung von EUV-Strahlung mittels ultrakurzer Pulse
- Integration von optischen Messverfahren zur Qualitätskontrolle beim »Additive Manufacturing«
- Neue Konzepte zu innovativen laserbasierten Bearbeitungsprozessen und -strategien



Prof. Reinhart Poprawe (Lehrstuhlleiter)
www.llt.rwth-aachen.de

Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS

Mit dem Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS trägt die RWTH Aachen University seit 2004 der wachsenden Bedeutung hochentwickelter optischer Systeme in der Fertigung, den IT-Industrien und den Lebenswissenschaften Rechnung. Der Fokus der Forschung liegt in der Entwicklung und Integration optischer Komponenten und Systeme für Laserstrahlquellen und Laseranlagen.

Hochkorrigierte Fokussiersysteme für hohe Laserleistungen, Einrichtungen zur Strahlhomogenisierung oder innovative Systeme zur Strahlumformung spielen bei Laseranlagen in der Fertigungstechnik eine bedeutende Rolle. Die Leistungsfähigkeit von Faserlasern und diodengepumpten Festkörperlasern wird beispielsweise durch Koppeloptiken und Homogenisatoren für das Pumplicht bestimmt. Ein weiteres Forschungsthema sind Freiformoptiken für die innovative Strahlformung. Im Bereich Hochleistungsdiodenlaser werden mikro- und makrooptische Komponenten entwickelt und zu Systemen kombiniert. Weiterhin werden Montagetechniken optimiert.



Prof. Peter Loosen (Lehrstuhlleiter)
www.tos.rwth-aachen.de

Lehrstuhl für Digital Additive Production DAP

Der Lehrstuhl für Digital Additive Production DAP erforscht zusammen mit industriellen und wissenschaftlichen Partnern die grundlegenden Zusammenhänge der Additiven Fertigung vom Bauteildesign über die Supply Chain, die Produktion und das Bauteilhandling bis hin zu den Einzeleigenschaften additiv gefertigter Bauteile. Zudem stehen begleitende Prozesse wie Auslegung, Qualitätsmanagement, Abbildung der gesamten digitalen Prozesskette und Fabrikplanung im Fokus der Entwicklungsarbeiten. Im Rahmen von Grundlagen-, Verbund- und Industrieprojekten aus den verschiedensten Branchen, wie beispielsweise Automotive, Luft- und Raumfahrt, Turbomaschinenbau, Life Sciences, Electronics, Werkzeug- und Formenbau, sowie der engen Kooperation mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen verfügt der DAP über eine weitreichende Expertise sowohl software- als auch hardwareseitig.

Neben der Weiterentwicklung bestehender Additive Manufacturing-Prozesse sowie vorhandener Maschinen- und Systemtechnik liegt der Fokus des DAP insbesondere auf softwaregetriebenen end-to-end-Prozessen. Angefangen vom bionischen Leichtbau über die Funktionsoptimierung für AM und dem Design »digitaler Materialien« bis hin zur Validierung im realen Prozess können die Vorteile additiver Verfahren nutzbar gemacht werden.



Prof. Johannes Henrich Schleifenbaum (Lehrstuhlleiter)
www.dap.rwth-aachen.de

Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD

Das 2005 gegründete Lehr- und Forschungsgebiet für Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD erforscht die Grundlagen der optischen Technologien mit Schwerpunkt auf Modellbildung und Simulation für die Anwendungsbereiche Makroschweißen und -schneiden, Präzisionsbearbeitung mit Ultrakurzpulslasern und PDT in der Zahnmedizin sowie Dermatologie.

Technische Systeme werden durch Anwendung und Erweiterung mathematisch-physikalischer und experimenteller Methoden untersucht. Mit der Analyse mathematischer Modelle werden ein besseres Verständnis dynamischer Zusammenhänge erreicht und neue Konzepte für die Verfahrensführung gewonnen. In Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT werden die Ergebnisse für Partner aus der Industrie umgesetzt.

Im Vordergrund der Ausbildungsziele steht die Vermittlung einer wissenschaftlichen Methodik zur Modellbildung anhand praxisnaher Beispiele. Die Modellbildung wird durch die experimentelle Diagnose der Laser-Fertigungsverfahren und die numerische Berechnung von ausgewählten Modellaufgaben geleitet.



Prof. Wolfgang Schulz (Leiter des Lehr-/Forschungsgebiets)
www.nld.rwth-aachen.de

Lehr- und Forschungsgebiet für Experimentalphysik des Extrem-Ultraviolett EUV

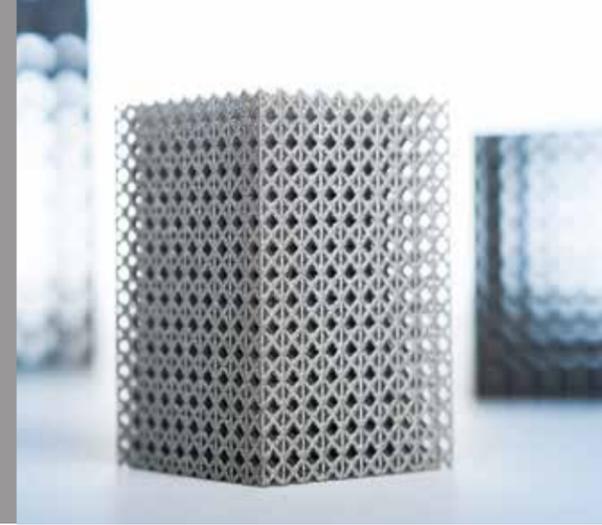
Der Spektralbereich der extrem ultravioletten Strahlung (Extrem-Ultraviolett, EUV oder XUV, 1 - 50 nm) bietet die Vorteile kleiner Wellenlängen und starker Licht-Materie-Wechselwirkungen mit atomaren Resonanzen. Dies ermöglicht sowohl laterale als auch Tiefenaufösungen im Nanometerbereich mit elementspezifischen Kontrasten.

Am 2012 im Fachbereich Physik gegründeten Lehr- und Forschungsgebiet für Experimentalphysik des Extrem-Ultraviolett EUV werden verschiedene Aspekte der EUV-Strahlung untersucht. Das Spektrum reicht von der Strahlungserzeugung und Charakterisierung über Wellenausbreitung und Wechselwirkungen mit Materie bis hin zu konkreten Anwendungen und deren Methodenentwicklungen. Dabei stehen insbesondere zwei Bereiche im Vordergrund: hochbrillante Quellen und Interferenzlithographie.

Die Forschungsarbeiten sind eingebettet in die Sektion »JARA-FIT« der »Jülich-Aachen Research Alliance« und erfolgen in Kooperation mit dem Peter Grünberg Institut für Halbleiter-Nanoelektronik des Forschungszentrums Jülich, dem Fraunhofer ILT und dem Lehrstuhl TOS.



Prof. Larissa Juschkin (Leiterin des Lehr-/Forschungsgebiets)
www.euv.rwth-aachen.de



DIGITAL PHOTONIC PRODUCTION DPP

Digital Photonic Production – die Zukunft der Produktion

Mit dem Thema Digital Photonic Production hat sich das Fraunhofer ILT eine zentrale Fragestellung der Produktionstechnik von morgen auf die Fahne geschrieben. Digital Photonic Production erlaubt die direkte Herstellung von nahezu beliebigen Bauteilen oder Produkten aus digitalen Daten. Verfahren, die vor über zehn Jahren für das Rapid Prototyping erfunden wurden, entwickeln sich zu Rapid Manufacturing Verfahren zur direkten Produktion von Funktionsbauteilen. Rapid Manufacturing Verfahren werden bereits in einigen Anlagen wie z. B. im Automobilbau und in der Luftfahrtindustrie für die industrielle Fertigung eingesetzt. Das Werkzeug Laser nimmt dabei wegen seiner einzigartigen Eigenschaften eine zentrale Rolle ein. Kein anderes Werkzeug kann annähernd so präzise dosiert und gesteuert werden.

Mass Customization

Digital Photonic Production geht dabei weit über laserbasierte generative Fertigungsverfahren hinaus. Neue Hochleistungs-Ultrakurzpulslaser ermöglichen zum Beispiel einen sehr schnellen und nahezu materialunabhängigen Abtrag. Bis hinein in den Nanometerbereich können so feinste funktionale 3D-Strukturen erzeugt werden. Im Zusammenhang mit diesen neuen Technologien wird teilweise von einer neuen industriellen Revolution gesprochen. Im Wesentlichen beruht dieses revolutionäre technologische Potenzial auf einer fundamentalen Änderung der Kostenfunktion für laserbasierte Fertigungsverfahren.

Im Unterschied zu konventionellen Verfahren können mit dem Werkzeug Laser sowohl kleine Stückzahlen als auch komplexe Produkte in kleinster Dimension, aus verschiedensten Materialien und mit kompliziertesten Geometrien kostengünstig gefertigt werden. Um dieses Potenzial von Digital Photonic Production vollständig zu nutzen, müssen Prozessketten ganzheitlich betrachtet werden. Die Neuauslegung von industriellen Prozessketten reicht dabei von vor- und nachgelagerten Fertigungsschritten über das Bauteildesign bis zu völlig neuen Geschäftsmodellen wie Mass Customization oder Open Innovation.

Forschungscampus Digital Photonic Production

Genau diese ganzheitliche Betrachtung ist im BMBF-Forschungscampus Digital Photonic Production in Aachen möglich. Im Rahmen der Förderinitiative »Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF wird der Aachener Campus über einen Zeitraum von 15 Jahren mit bis zu 2 Millionen Euro pro Jahr nachhaltig gefördert.

Der Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University ging als Koordinator eines Antragskonsortiums als einer von neun Gewinnern aus dem nationalen Wettbewerb hervor. Rund 30 Unternehmen und wissenschaftliche Institute arbeiten im Rahmen dieser Initiative gemeinsam unter kontinuierlicher Einbindung neuer Partner unter einem Dach an grundlegenden Forschungsfragen. Mit dem Forschungscampus Digital Photonic Production steht der Industrie und Wissenschaft in Aachen ein schlagfertiges Instrument zur Gestaltung der Zukunft der Produktionstechnik zur Verfügung.

RWTH AACHEN CAMPUS

RWTH AACHEN CAMPUS

Nach dem Vorbild der Stanford University und des Silicon Valleys schafft die RWTH Aachen University in den kommenden Jahren auf einem Gesamtareal von ca. 2,5 km² einen der größten technologieorientierten Campus Europas und damit eine der national und international bedeutendsten Wissens- und Forschungslandschaften. Die Cluster-Flächen sind in unmittelbarer Nähe zu einigen Großforschungsinstituten und -einrichtungen auf dem ehemaligen Hochschulerweiterungsgelände in Aachen-Melaten sowie auf dem Teilareal des Aachener Westbahnhofs verortet. Damit werden die Kernbereiche der RWTH Aachen in der Innenstadt, auf der Hörn und in Melaten erstmals zu einem zusammenhängenden Campus verbunden.

Forschungskatalysator und Innovationsgenerator

Durch das in Deutschland einzigartige Angebot der »Immatrikulation von Unternehmen« bietet der RWTH Aachen Campus eine völlig neue Form des Austauschs zwischen Industrie und Hochschule. Sie ermöglicht den Unternehmen die aktive Beteiligung in Center, die die operativen Einheiten der Cluster darstellen, um interdisziplinär und konsortial an Schwerpunktthemen zusammenzuarbeiten. Zugleich wird so der Zugang zu qualifiziertem Nachwuchs gesichert. Auch zügige praxisorientierte Promotionsverfahren werden ermöglicht.

Die Ansiedelung der interessierten Unternehmen auf dem RWTH Aachen Campus kann zur Miete in Investorenegebäuden oder mit einem eigenen Gebäude erfolgen. So entsteht eine einzigartige, intensivere Form der Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Unternehmen. Hinter allem steht das ganzheitliche Konzept: Forschen, Lernen, Entwickeln, Leben.

Der RWTH Aachen Campus schafft nicht nur die ideale Arbeitsumgebung für mehr als 10.000 Mitarbeiter mit Forschungseinrichtungen, Büros und Weiterbildungszentren sondern bietet zudem durch Gastronomie, Wohnen, Einkaufsmöglichkeiten, Kinderbetreuung und vielfältige Serviceeinrichtungen ein hohes Maß an Lebensqualität.

Stand und Entwicklung

Der RWTH Aachen Campus entsteht in mehreren Schritten. Die erste Etappe wurde 2010 mit der Erschließung und Bebauung des Campus-Melaten mit sechs thematischen Clustern gestartet – darunter auch das vom Fraunhofer ILT koordinierte Cluster Photonik. Die Themen der ersten sechs Cluster sind:

- Cluster Biomedizintechnik
- Cluster Nachhaltige Energie
- Cluster Photonik
- Cluster Produktionstechnik
- Cluster Schwerlastantriebe
- Cluster Smart Logistik

Derzeit werden die thematischen Cluster weiter verdichtet. Im nächsten Schritt wird der Campus Westbahnhof erschlossen. Die beiden Campus-Gebiete sollen auf 16 Cluster wachsen. Die Infrastruktur wird beispielsweise durch den Bau einer Kongresshalle, einer Bibliothek und Hotels erweitert. In allen 16 Clustern werden relevante Zukunftsthemen für Industrie und Gesellschaft bearbeitet. Über 360 Unternehmen engagieren sich bereits auf dem RWTH Aachen Campus.

Weitere Informationen unter: www.rwth-campus.com

CLUSTER PHOTONIK

Das Cluster Photonik, eines von sechs Startclustern auf dem RWTH Aachen Campus, ist spezialisiert auf die Erforschung und Entwicklung von Verfahren zur Erzeugung, Formung und Nutzung von Licht, insbesondere als Werkzeug für die industrielle Produktion. Der Laserstrahl kann im Vergleich zu anderen Werkzeugen präzise dosiert und gesteuert werden. Das Cluster Photonik wird von Prof. Poprawe, Leiter des Fraunhofer ILT und des RWTH-Lehrstuhls für Lasertechnik LLT, koordiniert. Das große Areal bietet genügend Raum für einerseits die interdisziplinäre Kooperation von wissenschaftlichen Einrichtungen untereinander und andererseits für die enge strategische Zusammenarbeit von Unternehmen mit dem Fraunhofer ILT und den assoziierten Lehrstühlen der RWTH Aachen University. Insofern ist das Cluster Photonik die konsequente Weiterentwicklung des seit 1988 bestehenden Anwenderzentrums des Fraunhofer ILT, in dem ständig rund 10 Unternehmen als Gastfirmen des Instituts in eigenen Büros und Laboren vor Ort in engem Schulterschluss mit dem Fraunhofer ILT tätig waren.

Das erste Gebäude im Cluster Photonik – das Industry Building Digital Photonic Production – wurde vor über 500 Fachexperten aus der Lasertechnologie sowie 100 Gästen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik im Umfeld des International Laser Technology Congress AKL'16 am 28. April 2016 feierlich eröffnet. Die Schlüsselübergabe fand zwischen dem privatwirtschaftlichen Investor Landmarken AG mit dem KPF-Architektenteam und dem Fraunhofer ILT statt. Die Gäste konnten das neue 7000 qm große DPP-Gebäude mit seinen Forschungs- und Büroräumlichkeiten besichtigen. Über 20 Unternehmen sowie FuE-Teams des Fraunhofer ILT und des Lehrstuhls für Lasertechnik der RWTH Aachen University belegen das Gebäude.

Eine weitere durch den Bund und das Land NRW finanzierte Infrastruktur zur interdisziplinären universitären Kooperation im Bereich Digital Photonic Production wird in 2019 eröffnet: das Research Center Digital Photonic Production. Das Richtfest des Neubaus fand am 24. Mai 2016 in Anwesenheit von BMBF-Staatssekretär Thomas Rachel (MdB) und dem ehemaligen RWTH-Rektor Prof. Ernst Schmachtenberg statt. Auf einer Nutzfläche von 4.300 qm werden 16 Institute der RWTH Aachen University aus 6 Fakultäten die interdisziplinäre und ganzheitliche Erforschung von digitalen photonischen Fertigungsketten in Angriff nehmen.

Die beiden Gebäude, das Research Center Digital Photonic Production und das Industry Building Digital Photonic Production, bilden die Basis des BMBF-geförderten Forschungscampus DPP. Der Forschungscampus DPP bietet derzeit mehr als 20 Industriepartnern die Möglichkeit, gemeinsam unter einem Dach zu forschen. Hierzu zählen sowohl große Konzerne wie Philips, MTU oder Siemens als auch mittelständische Unternehmen und Spin-offs des Fraunhofer ILT. Das Cluster Photonik ist somit der ideale Ausgangspunkt für Forschung und Entwicklung, Aus- und Fortbildung, Innovation und Vernetzung im Bereich der optischen Technologien.

Ansprechpartner

Prof. Reinhart Poprawe (Leiter Cluster Photonik)
Telefon +49 241 8906-109
reinhart.poprawe@ilt.fraunhofer.de



1 3D-Skizze des Cluster Photonik
(Quelle: KPF, New York).

DAS CLUSTER PHOTONIK

RESEARCH CENTER DPP

Research Center Digital Photonic Production

Die inter- und transdisziplinäre Vernetzung verschiedener Forschungsgebiete ist ein wesentlicher Faktor für die Verkürzung von Innovationszyklen. Hier konnte bereits durch das Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer« ein wesentlicher Schritt geleistet werden: Wissenschaftler verschiedener Institute und Lehrstühle am Standort Aachen forschen über einen verhältnismäßig langen Zeitraum gemeinsam an unterschiedlichen Themen für ein gemeinsames Ziel. Die Wissenschaftler und die Infrastruktur sind in den jeweiligen Instituten und Lehrstühlen beheimatet. Der Austausch findet zur Zeit nur in zeitlich begrenzten Intervallen statt. Um jedoch eine noch wirkungsvollere Vernetzung der verschiedenen Forschungsdisziplinen und der beteiligten Wissenschaftler zu ermöglichen, sollten diese an einem gemeinsamen Ort für einen längeren Zeitraum ansässig werden.

Im Jahr 2014 bekamen Institute und Lehrstühle aus sechs Fakultäten der RWTH Aachen University unter Federführung des Lehrstuhls für Lasertechnik LLT den Förderzuschlag für den Bau des »Research Center Digital Photonic Production RCDPP«. Bau, Ersteinrichtung und Großgeräte im Gesamtvolumen von ca. 55 Mio Euro werden von Bund und Land NRW je zur Hälfte finanziert.

Im Research Center DPP werden künftig rund 100 Wissenschaftler auf ca. 4300 qm Nutzfläche – davon 2800 qm Labor-, Reinraum und Hallenflächen – grundlagenorientierte Forschung im Bereich der Photonik betreiben.

Die aktuell beteiligten Institute und Lehrstühle stammen aus sechs Fakultäten der RWTH Aachen University: Maschinenwesen, Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften, Elektrotechnik und Informationstechnik, Georessourcen und Materialtechnik, Medizin und Wirtschaftswissenschaften. Somit können sich projektbezogene interdisziplinäre Arbeitsgruppen bilden, beispielsweise bei der Erforschung neuer Materialien für den 3D-Druck. Für Materialwissenschaftler ergibt sich die Möglichkeit, gemeinsame Experimente mit Laserexperten durchzuführen und so die Innovationszyklen zu verkürzen.

Weitere Schwerpunkte sind die adaptive Fertigung komplexer optischer Systeme, die direkte photonische Ablation mit hohen Abtragsraten, die Ultrapräzisionsbearbeitung, EUV-Strahlquellen, Hochleistungs-Ultrakurzpuls laser, Medizintechnik, Biotechnologie und Quantentechnologie.

Ansprechpartner

Roman Flaig M.Sc.
Telefon +49 241 8906-646
roman.flraig@ilt.fraunhofer.de

Dr. Christian Hinke
Telefon +49 241 8906-352
christian.hinke@ilt.rwth-aachen.de



INDUSTRY BUILDING DPP

Industry Building Digital Photonic Production

In unmittelbarer Nähe zum Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT und den assoziierten Lehrstühlen LLT, TOS, DAP und NLD der RWTH Aachen University können sich Unternehmen im Industry Building Digital Photonic Production mit der Absicht einer strategischen Partnerschaft niederlassen, um neue Komponenten, Systeme, Verfahren, Prozessketten oder Geschäftsmodelle im Bereich der optischen Technologien – insbesondere für die Produktionstechnik – zu entwickeln. Die gemeinsame Forschung und Entwicklung ist die Basis für diese langfristigen Kooperationen. Dabei spielt es keine Rolle, ob sich ein Unternehmen mit einer juristischen Person, einem gezielt ausgewählten FuE-Team oder mehreren Doktoranden aus den eigenen Reihen vor Ort niederlässt. Räumlichkeiten wie Labore und Büros können je nach Bedarf über den privaten Betreiber angemietet werden. Der Nutzen dieser Kooperation liegt in der räumlichen Nähe zu den Experten des Fraunhofer ILT und der assoziierten RWTH-Lehrstühle, die ebenfalls eigene Räumlichkeiten vor Ort bezogen haben. In Open Space-Strukturen und gemeinsam belegten Laboren können gemischte Teams aus Industrie und Wissenschaft interagieren und sich gegenseitig inspirieren. Auch die Aus- und Fortbildung sowie der Zugang zu wissenschaftlichen Veranstaltungen vor Ort gestaltet sich durch die »Immatrikulation der Unternehmen« an der RWTH Aachen University sehr effizient.

Im Industry Building DPP sind auf rund 7000 qm Nutzfläche neben einzelnen Unternehmen auch große Initiativen wie der BMBF-geförderte Forschungscampus DPP oder Zentren des Cluster Photonik wie ACAM – Aachen Center for Additive Manufacturing – beheimatet. So können Unternehmen beispielsweise im Forschungscampus DPP in enger Abstimmung mit den beteiligten Akteuren neue Verfahren der Additiven

Fertigung oder der Nanostrukturierung zur Herstellung smarter Produkte sowie Prozesse für 3D-Drucktechnologien optimieren und in Pilotanlagen testen.

Partner aus der Industrie

- 4JET Technologies GmbH
- Access e.V.
- AixPath GmbH
- Aixtooling GmbH
- AMPHOS GmbH
- BMW AG
- EdgeWave GmbH
- Exapt Systemtechnik GmbH
- EOS GmbH
- Fionec GmbH
- Innolite GmbH
- KEX Knowledge Exchange AG
- LighFab GmbH
- ModuleWorks GmbH
- MTU Aero Engines AG
- PHILIPS
- Pulsar Photonic GmbH
- Siemens AG
- SLM Solutions GmbH
- TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH
- WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH

Ansprechpartner

Dr. Christian Hinke
Telefon +49 241 8906-352
christian.hinke@ilt.rwth-aachen.de

- 1 Industry Building DPP im Cluster Photonik auf dem RWTH Aachen Campus.
- 2 Forschung unter einem Dach: Research Center Digital Photonic Production RCDPP, Entwurf: Carpus+Partner.

FORSCHUNGSCAMPUS DPP

FORSCHUNGSCAMPUS DIGITAL PHOTONIC PRODUCTION DPP

Ziele und Aufgaben

Der Forschungscampus »Digital Photonic Production DPP« in Aachen erforscht neue Methoden und grundlegende physikalische Effekte für die Nutzung von Licht als Werkzeug in der Produktion der Zukunft. Mit dem BMBF-geförderten Forschungscampus DPP wird eine neue Form der langfristigen und systematischen Kooperation zwischen RWTH Aachen University, Fraunhofer-Gesellschaft und Industrie etabliert. Ziel dieser Zusammenarbeit ist die komplementäre Bündelung der verschiedenen Ressourcen unter einem Dach zur gemeinsamen anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Dies wird durch ein neues Gebäude auf dem RWTH Aachen Campus ermöglicht: dem Industry Building DPP. Hier können die Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft auf ca. 7.000 qm Büro- und Laborfläche gemeinsam unter einem Dach im Rahmen des Forschungscampus DPP forschen.

Ansprechpartner

Dr. Christian Hinke
Telefon +49 241 8906-352
christian.hinke@ilt.rwth-aachen.de

Weitere Informationen unter: www.forschungscampus-dpp.de

Roadmapping-Prozess

Die Zusammenarbeit der zwei Fraunhofer-Institute ILT und IPT und der rund 20 Industrieunternehmen wird in gemeinsam abgestimmten Technologie-Roadmaps definiert. Entlang der Technologie-Roadmaps erforschen die Partner in abgestimmter Form grundlegende Aspekte der Lichterzeugung (z. B. Modellierung von Ultrakurzpulsresonatoren), neue Möglichkeiten der Lichtführung und -formung (z. B. Modellierung von Freiformoptiken) und physikalische Modelle zur Wechselwirkung von Licht, Material und Funktionalität (z. B. Modellierung von belastungsoptimierten generativ gefertigten Strukturen).

Gemeinsame Arbeitsgruppen

Die Zusammenarbeit im Forschungscampus DPP wird in gemeinsamen Arbeitsgruppen mit Mitarbeitern aus der Wissenschaft und der Wirtschaft entlang der Technologie-Roadmaps organisiert. Folgende fünf Arbeitsgruppen wurden etabliert:

- DPP Direct
- DPP Femto
- DPP Nano
- DPP MaGeoOptik
- DPP Digitale Photonische Prozesskette



1



2

DPP Direct

Das additive Fertigungsverfahren Laser Powder Bed Fusion (LPBF) erlaubt die direkte, werkzeuglose Fertigung von Funktionsbauteilen mit serienidentischen Eigenschaften. Neben der hohen Ressourceneffizienz sticht vor allem die werkzeuglose Fertigung komplexer Bauteile hervor. Diese können in kleinen Stückzahlen schnell und vergleichsweise kostengünstig gefertigt werden. Ebenso können funktions- und gewichtsoptimierte Bauteile für neue Produkte mit verbesserten Eigenschaften kostengünstig realisiert werden. Das LPBF-Verfahren wird zunehmend in Branchen wie Dentaltechnik, Werkzeugbau, Energietechnik, Automobilbau und Flugzeugbau eingesetzt.

DPP Femto

Mit den noch relativ jungen Ultrakurzpulslasern (UKP-Laser) können neue Funktionalitäten auf Bauteilen verschiedener Werkstoffe erzeugt werden. Allerdings sind die fundamentalen Zusammenhänge der Wechselwirkung zwischen dem UKP-Laserlicht und modernen Funktionsmaterialien der digitalen Welt noch nicht ausreichend erforscht. Ziel der Partner im Verbundvorhaben DPP Femto ist es, diese komplexen Zusammenhänge im Detail zu analysieren und somit der Lasertechnologie neue Horizonte in der Bearbeitung elektronischer Bauteile wie in der Displayfertigung oder der Fertigung moderner LEDs zu eröffnen.

DPP Nano

Um eine örtlich begrenzte, zeitlich gesteuerte, exakt dosierte Wärmebehandlung durchzuführen, werden neue Laser-Strahlquellen (wie z.B. VCSEL-Laser), optische Systeme und Algorithmen entwickelt und erprobt. Ziel ist die Erzeugung maßgeschneiderter, werkstoffangepasster Lichtverteilungen. Hiermit werden neue Anwendungsgebiete in der Industrie erschlossen (z. B. durch die Funktionalisierung von Oberflächen

auf Basis nanopartikulärer Werkstoffe), die Produktivität von Wärmebehandlungsprozessen gesteigert (z. B. Laserhärten) sowie das Anwendungsspektrum erweitert (z. B. Herstellung von komplexen Bauteilen aus Verbundwerkstoffen).

DPP MaGeoOptik

Ziel des Forschungsvorhabens »MaGeoOptik« ist es, die Leistungsfähigkeit aktueller Strahlführungssysteme durch den Einsatz qualitativ hochwertiger Optiken, neuartiger Materialien und komplexerer Geometrien deutlich zu steigern. Hierzu werden neue Pressprozesse von Quarzgläsern konzipiert und qualifiziert, Software und Prozesse mit innovativen Bearbeitungskinematiken für Diamantoptiken entwickelt und geeignete metrologische Verfahren der berührungslosen Optikprüfung eingesetzt. Dadurch lassen sich u. a. komplexe Geometrien in Quarzglas, wie z. B. Array-Strukturen mit asphärischen Einzelgeometrien, kostengünstig herstellen.

DPP Digitale Photonische Prozesskette

Die hohe Energiedichte im Laserfokus lässt sich nutzen, um entweder gezielt Material abzutragen oder aufzuschmelzen. So können kleinste Strukturen in die Oberfläche von Bauteilen für technische Funktionen oder gestalterische Zwecke eingebracht werden. Die Modellierung der filigranen Strukturen ist mit gängigen CAD/CAM-Systemen sehr aufwendig. Daher wird eine digitale Infrastruktur geschaffen, um prozedural beschriebene Strukturen für photonische Fertigungsverfahren nutzen zu können. Die Ergebnisse werden in CAx-Bibliotheken zur Bahnberechnung implementiert und anschließend in konventionelle CAM-Softwareprodukte integriert.

- 1 *Begegnungsfläche im lichtdurchfluteten Atrium des Industry Building DPP.*
2 *DPP Nano: Selektive Vorwärmung mittels VCSEL beim Laser Powder Bed Fusion (LPBF).*

AUSGRÜNDUNGEN

Netzwerke und Infrastruktur

Das Fraunhofer ILT bietet zusammen mit dem durch das BMBF geförderten Forschungscampus Digital Photonic Production DPP und dem RWTH Aachen Campus ein ideales Umfeld zur Gründung eines Unternehmens im Bereich der photonischen Produktion. Das Fraunhofer ILT fungiert dabei als Know-how-Partner, der je nach Kooperationsvertrag mehr oder weniger in die Entwicklung neuer Technologien einbezogen wird. Über entsprechende Lizenzverträge haben die Spin-offs auch Zugriff auf jene Patente, die die Gründer noch selbst am Fraunhofer ILT realisiert haben.

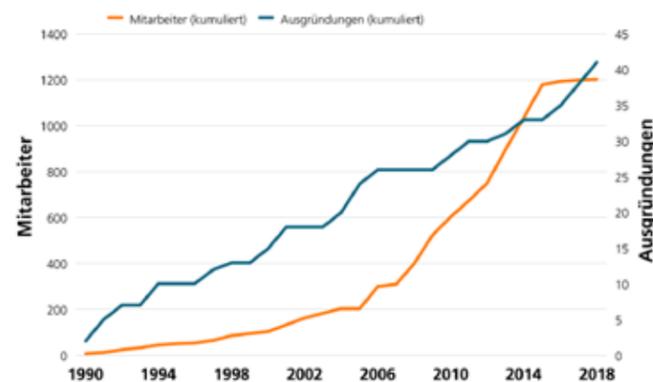
Der Forschungscampus DPP bildet die Plattform zum intensiven Austausch mit Unternehmen, Instituten und Beratern, die sich im Bereich der photonischen Produktion bewegen. Auch Co-Creation Areas und Open Innovation Konzepte werden am Forschungscampus bei Bedarf genutzt. Im Industry Building DPP auf dem RWTH Aachen Campus Gelände können die Ausgründer auf 7000 qm Nutzfläche eigene Büros und Labore anmieten. Hier haben sich bereits rund 30 Unternehmen niedergelassen, darunter auch Forschergruppen großer Konzerne wie Siemens, TRUMPF, Philips oder MTU. Das gesamte Umfeld des Campus wirkt als Inkubator für erfolgreiche Unternehmensausgründungen.

Unterstützende Angebote

Neben den öffentlich geförderten Ausgründungsprogrammen haben die Spin-offs direkten Zugriff auf regionale Beratungsangebote wie von der AGIT oder der IHK Aachen. Diese koordiniert auch das rund 200 Mitglieder umfassende ehrenamtliche AC²-Beraternetzwerk.

Neben den regionalen Akteuren unterstützt die Fraunhofer Venture, eine Abteilung der Fraunhofer-Gesellschaft, die Wissenschaftler in der Weiterentwicklung und Umsetzung ihrer Ideen bis hin zur Marktreife. Das vielfältige Serviceangebot reicht von der Beratung und Optimierung eines Businessplans über die Unterstützung von Rechts- und Organisationsgestaltung bis hin zur Vermittlung von Investoren und Vorbereitung einer möglichen Beteiligung der Fraunhofer-Gesellschaft.

Ausgründungen seit 1990



SPIN-OFFS DES FRAUNHOFER ILT

Intensive Ausgründungskultur am Fraunhofer ILT

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT pflegt seit den frühen 90er Jahren eine intensive Ausgründungskultur. Dies ist im Wesentlichen durch die Erkenntnis geprägt, dass eine effiziente Vorgehensweise zur Einführung einer neuen Technologie in den Markt die unternehmerische Tätigkeit der maßgeblichen Promotoren der jeweiligen Technologie ist. Gründer sind zutiefst von ihrer Idee überzeugt und lassen sich von Bedenkenträgern oder administrativen Hürden selten bremsen. Gleichzeitig müssen sie so flexibel sein, dass sie ihr Geschäftsmodell dem Bedarf des Marktes ständig anpassen, ohne dabei ihre Kernidee aufzugeben. Innovative Gründer sind somit sowohl Impulsgeber in der Branche für neue technologische Lösungsansätze und Perspektiven als auch klassische Unternehmer, die eine nachhaltige Geschäftsentwicklung im Blick halten müssen.

Diese Wesenszüge teilen sich die Ausgründer mit dem Namenspatron der Fraunhofer-Gesellschaft: Joseph von Fraunhofer, der Anfang des 19. Jahrhunderts als Forscher, Erfinder und Unternehmer hervortrat. Sein Aktionsspektrum reichte von der Entdeckung der später nach ihm benannten Fraunhofer-Linien im Sonnenspektrum über die Entwicklung neuer Bearbeitungsverfahren für die Linsenfertigung bis hin zur Leitung einer Glashütte. Insofern setzt das Fraunhofer ILT diese unternehmerische Tradition durch die Unterstützung ausgründungswilliger Mitarbeiter fort. Und das seit Bestehen des Instituts.

Spin-offs generieren Mehrwert für die Laserbranche

Rückblickend entstanden in den letzten 25 Jahren ein bis zwei Unternehmen pro Jahr. Damit liegt die Ausgründungsfrequenz des Instituts über dem Durchschnitt der Fraunhofer-Gesellschaft. Rund 40 sogenannte Spin-offs agieren in der Lasertechnik und erzeugen nicht nur neue Umsätze sondern erweitern auch das Marktpotenzial der Branche. Sie tragen unmittelbar zum Wirtschaftswachstum bei.

Neben diesem finanziellen Aspekt sind die ausgegründeten Unternehmen attraktive Arbeitgeber, da sie sich in einer Branche bewegen, die seit Jahren herausragende Wachstumsraten aufweist. Die Lasertechnik wächst selbst im Vergleich zum gesamten Maschinen- und Anlagenbau überproportional. Selbstverständlich sorgen die Spin-offs auch für Mehrwerte bei großen etablierten Konzernen, die bei Bedarf auf die neuen angebotenen Technologien zurückgreifen. Ob es sich um neue Reinigungsverfahren, maßgeschneiderte additiv gefertigte Implantate, neue Hochleistungsdiodelnaser oder leistungsstarke Ultrakurzpuls-laser handelt, die rund 40 Ausgründungen des Fraunhofer ILT decken ein weites Spektrum ab. In 2018 wurden drei Unternehmen gegründet: HPL Technologies GmbH, Aixway3D GmbH und DAP Aachen GmbH.

- 1 Sitz des Spin-Offs AMPHOS GmbH im Technologiepark Herzogenrath.
- 2 Laser der »AMPHOS2000«-Serie.

STANDORTINITIATIVEN



ACAM

ACAM Aachen Center for Additive Manufacturing

Die Fraunhofer-Institute für Produktionstechnologie IPT und für Lasertechnik ILT haben im Jahr 2015 gemeinsam mit Partnern aus der Wissenschaft die ACAM Aachen Center for Additive Manufacturing GmbH gegründet. Ziel der ACAM ist die Unterstützung produzierender Unternehmen bei der Umsetzung additiver Fertigungsverfahren in ihren Produktionsprozessen. Das Zentrum für Additive Fertigung wird von Dr. Kristian Arntz, Fraunhofer IPT, und Prof. Johannes Henrich Schleifenbaum, Fraunhofer ILT, geleitet.

Die ACAM GmbH betreibt ein Center auf dem RWTH Aachen Campus Melaten und bündelt die Kompetenzen unterschiedlicher Forschungsinstitute in ihren Dienstleistungen. ACAM führt eine Expertencommunity rund um das Thema Additive Manufacturing zusammen und entwickelt das Know-how in diesem Bereich systematisch weiter. Die bestehende Expertise wird den Anwendern direkt zugänglich gemacht.



ACAM-Community-Treffen am 21. März 2018
bei GKN Sinter Metals in Radevormwald.

In Sachen Ausbildung bietet die ACAM GmbH maßgeschneiderte Seminare an. Interessierte Unternehmen können sich kostenpflichtig an der ACAM Community beteiligen. Die Partnerfirmen können sich bei Bedarf auch direkt auf dem Campus mit eigenen Ressourcen ansiedeln. Die Mitarbeiter dieser Firmen können auch an Aus- und Weiterbildungsangeboten der RWTH Aachen University teilnehmen und sind in das universitäre Umfeld eingebunden.

Strategische Partner von ACAM

- Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT
- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT
- Access Technology GmbH
- KEX Knowledge Exchange AG
- Institut für werkzeuglose Fertigung IwF, An-Institut der FH Aachen
- RWTH Aachen University:
 - Lehrstuhl für Lasertechnik LLT
 - Lehrstuhl für Digital Additive Production DAP
 - Lehrstuhl für Production Engineering of E-Mobility Components PEM
- Lehr- und Forschungsgebiet Nichtlineare Dynamik der Laser-Fertigungsverfahren NLD
- Lehrstuhl und Institut für Allgemeine Konstruktionstechnik des Maschinenbaus IKT
- Werkzeugmaschinenlabor WZL
- Institut für Kraftfahrzeuge IKA
- Institut für Kunststoffverarbeitung IKV
- Institut für Werkstoffanwendungen im Maschinenbau IWM

Ansprechpartner

Prof. Johannes Henrich Schleifenbaum
Telefon +49 241 8906-398
johannes.henrich.schleifenbaum@ilt.fraunhofer.de

Weitere Informationen unter: www.acam.rwth-campus.com

AACHENER ZENTRUM FÜR 3D-DRUCK

Das Aachener Zentrum für 3D-Druck ist eine gemeinsame Forschungsgruppe des Fraunhofer ILT und der FH Aachen mit dem Ziel, kleinen und mittelständischen Unternehmen den Zugang zur gesamten Prozesskette im Bereich Additive Manufacturing (AM) zu eröffnen. So sollen die ökonomischen und technologischen Chancen genutzt werden, die diese innovative Technologie bietet.

Kleine und mittlere Unternehmen durchleuchten ihre Anwendungen und sehen zunehmend die ökonomischen und technologischen Chancen des AM in ihren Produktionsumgebungen. Oftmals scheuen sie allerdings die Investitionsrisiken. Vor allem aber verfügen sie nur selten über qualifizierte 3D-Druckspezialisten und ausgebildete Facharbeiter. Hier setzt das eng kooperierende Expertenteam des Fraunhofer ILT und der FH Aachen an.

Ansprechpartner

Dr. Sebastian Bremen (Fraunhofer ILT)
Telefon +49 241 8906-537
sebastian.bremen@ilt.fraunhofer.de

Prof. Andreas Gebhardt (FH Aachen)
Telefon +49 241 6009 52500
gebhardt@fh-aachen.de

Weitere Informationen unter: www.ilt.fraunhofer.de
und www.fh-aachen.de

MEDLIFE E.V.

MedLife ist das Netzwerk der Life Sciences in der Technologieregion Aachen. Derzeit engagieren sich mehr als 80 Mitglieder in diesem regionalen Branchenverband. MedLife bietet Veranstaltungen und Dienstleistungen für die Branchen Medizintechnik, Biotechnologie, Pharma und Gesundheitswirtschaft an. Das Netzwerk ist Ansprechpartner für Unternehmer und Wissenschaftler, die den Austausch mit anderen Life Science Akteuren und kompetente Beratung und Unterstützung bei innovativen Vorhaben und Geschäftsideen suchen.

Neben dem MedLife e.V. kümmert sich die angegliederte GmbH um die Bereiche Clustermanagement und Förderprojektmanagement und bietet Dienstleistungen wie Unternehmens- und Innovationsberatung an. Das Fraunhofer ILT engagiert sich aktiv im MedLife e.V. Seit der Mitgliederversammlung am 7. März 2016 ist Dr. Arnold Gillner, Kompetenzfeldleiter Abtragen und Fügen des Fraunhofer ILT, Sprecher des Beirats des MedLife e.V..

Ansprechpartner

Dr. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

Weitere Informationen unter: www.medlife-ev.de

Additiv gefertigte Buchstaben
mit integrierten Leichtbaustrukturen.

KOOPERATIONEN UND VERBÄNDE

Um seinen Kunden Lösungen aus einer Hand anbieten zu können, pflegt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT Kooperationen mit in- und ausländischen Forschungszentren, Universitäten, Clustern und Unternehmen. Auch zu Verbänden, IHKs, Prüfanstalten und Ministerien hält das Fraunhofer ILT enge Kontakte.

REGIONALE NETZWERKE

Auf lokaler Ebene kooperiert das Fraunhofer ILT mit der RWTH Aachen University, der Fachhochschule Aachen und dem Forschungszentrum Jülich in vielen grundlegenden Fragestellungen. Im Aachener Zentrum für 3D-Druck – einer Kooperation der FH Aachen mit dem Fraunhofer ILT – erhalten beispielsweise mittelständische Unternehmen Unterstützung in allen Fragen der Additiven Fertigung. Auch im Bereich der Life Sciences ist das Fraunhofer ILT über den MedLife e.V. regional gut vernetzt. Der Fachverband IVAM e.V. ermöglicht dem ILT den Zugang zu zahlreichen Experten der Mikrotechnik. Im Landescluster NMWP.NRW engagiert sich das Fraunhofer ILT in den Bereichen Nanotechnologie, Photonik, Mikrosystemtechnik und Quantentechnologie.

NATIONALE KOOPERATIONEN

Gemeinsam mit rund 70 Forschungseinrichtungen ist das Fraunhofer ILT in die Fraunhofer-Gesellschaft, die größte Organisation für anwendungsorientierte Forschung in Europa, eingebettet. Unsere Kunden profitieren von der gebündelten Kompetenz der kooperierenden Institute.

Die Vernetzung von Laseranwendern, -herstellern und -forschern auf nationaler Ebene gelingt unter anderem im Arbeitskreis Lasertechnik e.V., in der Wissenschaftlichen Gesellschaft Lasertechnik e.V. und in verschiedenen Industrieverbänden wie DVS, SPECTARIS oder VDMA. Das Fraunhofer ILT engagiert sich aktiv in nationalen Initiativen wie dem BMBF-Forschungscampus oder dem Programm »go-cluster« des BMWi. In allen Gremien setzen ILT-Mitarbeiter Impulse, um sowohl das Fachgebiet der Lasertechnik als auch Formen der Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie zum Wohle der Gesellschaft weiterzuentwickeln.

INTERNATIONAL VERNETZT

Mit ausländischen Firmen und Niederlassungen deutscher Firmen im Ausland führt das Fraunhofer ILT sowohl bilaterale Projekte als auch Verbundprojekte durch. Darüber hinaus unterhält die Fraunhofer-Gesellschaft Verbindungsbüros in zahlreichen Ländern. Um auch internationale Entwicklungen von Fraunhofer ILT-relevanten Fachgebieten zeitnah begleiten zu können, engagieren sich Mitarbeiter gezielt in ausgewählten Verbänden und Netzwerken wie dem European Photonic Industry Consortium EPIC und der Technologieplattform Photonics21 auf europäischer Ebene oder dem Laser Institute of America LIA auf transatlantischer Ebene. Zahlreiche wissenschaftliche Vorträge auf internationalen Tagungen runden das Bild ab.

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Axel Bauer
Telefon +49 241 8906-194
axel.bauer@ilt.fraunhofer.de

ARBEITSKREIS LASERTECHNIK E.V.



Der Arbeitskreis Lasertechnik e.V. – kurz AKL e.V. – wurde 1990 gegründet, um die faszinierenden Möglichkeiten, die das Werkzeug Laser in Hinblick auf Präzision, Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit eröffnet, durch Intensivierung des Informations- und Ausbildungsstands für den industriellen Einsatz nutzbar zu machen. Heute sind viele der Anwendungsmöglichkeiten bekannt. Dennoch werden ständig neue Laserstrahlquellen und Laserverfahren entwickelt, die zu innovativen Perspektiven in der industriellen Fertigung führen. In dieser sich schnell wandelnden Disziplin unterstützt ein Netzwerk von Laserexperten die laufenden Innovationsprozesse. Der AKL e.V. dient dabei ausschließlich und unmittelbar der Förderung wissenschaftlicher Ziele.

Aufgaben des AKL e.V.

- Förderung der wissenschaftlichen Arbeit auf dem Gebiet der Lasertechnik durch Anregung und Unterstützung von Forschungsprojekten, die an Forschungsinstitutionen durchgeführt werden sowie die Kooperation mit anderen Forschungsvereinigungen und wissenschaftlichen Institutionen
- Förderung der Verbreitung der Lasertechnik in der Wirtschaft sowie die Unterstützung des wissenschaftlichen Gedankenaustauschs mit Personen, Unternehmen, Gesellschaften, Vereinigungen, Behörden und Ämtern jeder Art, insbesondere durch finanzielle Unterstützung und Organisation von Forschungsvorhaben, Vorträgen, Konferenzen, Besprechungen und Tagungen. In diesem Zusammenhang organisiert der

AKL e.V. unter anderem auch die Seminare und Veranstaltungen des Alumni-Netzwerks »Aix-Laser-People«. Dem AKL e.V. gehören über 170 Mitglieder an. Die persönliche Kommunikation zwischen den Mitgliedern bildet das Rückgrat des Vereins.

Innovation Award Laser Technology

Alle zwei Jahre verleihen der Arbeitskreis Lasertechnik e.V. und das European Laser Institute ELI e.V. den mit 10.000 EUR dotierten Innovation Award Laser Technology. Dieser europäische Preis der angewandten Wissenschaft richtet sich sowohl an Einzelpersonen als auch an Projektgruppen, deren Fähigkeiten und Engagement zu einer herausragenden Innovation auf dem Gebiet der Lasertechnik geführt haben. Die achtköpfige internationale Jury kürte in 2018 drei herausragende Finalisten:

- 1. Platz: Dr. Axel Luft, Laserline GmbH
Thema: Multi Spot Modules to Improve Joining Processes due to Tailored Spot Geometries
- 2. Platz: Dr. Gerald Jenke, SAUERESSIG GmbH + Co. KG
Thema: Multi Parallel Ultrafast Laser Ablation for Large Scale Ultraprecision Manufacturing
- 3. Platz: Alejandro Bárcena M.Sc.Eng,
Talens Systems S.L. Etxe-Tar Group
Thema: RAI0 DSS – A High Flexibility Dynamic Beam Control System for Laser Heat Treatment and Related High Power Laser Applications

Ansprechpartner

Dr. Hartmut Frerichs
Telefon +49 241 8906-420
hartmut.frerichs@akl-ev.de

Weitere Informationen unter: www.akl-ev.de

VERANSTALTUNGEN UND PUBLIKATIONEN



»Alles, im Kleinen und Großen,
beruht auf Weitersagen.«

Christian Morgenstern

PATENTE

PATENTERTEILUNGEN DEUTSCHLAND

DE 102014206143.1 Laserauftragschweißen von hochwarmfesten Superlegierungen mittels oszillierender Strahlführung

DE 102015014060 B4 Verfahren zum Fügen von zwei Bauteilen im Bereich einer Fügezone mittels mindestens einem Laserstrahl sowie Verfahren zum Erzeugen einer durchgehenden Fügenaht

DE 10342239.0-54 Gasentladungsquelle für EUV-Strahlung

DE 102014208371B4 Verfahren zur Laserbearbeitung einer Oberfläche

DE 102006050466.6 Anordnung zur Verkleinerung der thermischen Effekte in Laser- und nichtlinearen Medien

DE 102013012730.0 Verfahren zur Strukturierung von Dünnschicht-Elektronik ohne Materialentfernung

DE 102014116567.5 Verfahren und Vorrichtung zur Identifikation und Sortierung von strömenden Mikropartikeln in einem Fluid

DE 102015202470.9 Verfahren und Vorrichtung zur hochpräzisen optischen Messung mit anhaftenden fluidischen Schichten

DE 102012021061.2 Verfahren zur Herstellung einer Beschichtung auf einer Substratoberfläche

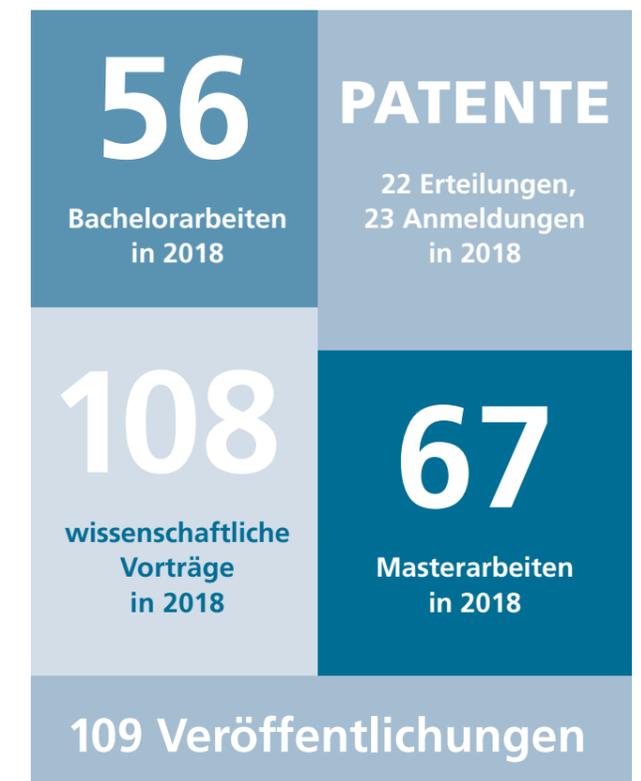
PATENTERTEILUNGEN EUROPA

EP 3099446 Laserauftragschweißen von hochwarmfesten Superlegierungen mittels oszillierender Strahlführung

EP 15717453.3 Verfahren zur Laserbearbeitung einer Oberfläche

EP 2084794 B1 Anordnung zur Verkleinerung der thermischen Effekte in Laser- und nichtlinearen Medien

EP 15794534.6 Verfahren und Vorrichtung zur Identifikation und Sortierung von strömenden Mikropartikeln in einem Fluid



PATENTE

PATENTERTEILUNGEN USA

US 14/293,495 Method of manufacturing organic light-emitting display device by using laser beam irradiation apparatus

US 10,144,092 B2 Laserverfahren mit unterschiedlichem Lasterstrahlbereich innerhalb eines Strahls

PATENTERTEILUNGEN CHINA

CN 201410231251.0 Method of manufacturing organic light-emitting display device by using laser beam irradiation apparatus

CN 105228789 B Verfahren zum Abtragen von sprödhartem Material mittels Laserstrahlung

CN 201580014382.6 Bearbeitungsvorrichtung und -verfahren zur Laserbearbeitung einer Oberfläche

PATENTERTEILUNGEN TAIWAN

TW 102128219 Laser processing apparatus

TW 103118984 Method of manufacturing organic light-emitting display device by using laser beam irradiation apparatus

TW 102142186 Laser processing apparatus

PATENTERTEILUNGEN JAPAN

JP 6430523 Machining device and method for laser machining of a surface

PATENTANMELDUNGEN DEUTSCHLAND

102018132441.3 Verfahren zur Bearbeitung einer Oberfläche mit energetischer Strahlung

102018208752.0 Vorrichtung zur Laserbearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke

102018103967.0 Laserbasiertes Verfahren zur Herstellung funktionaler Beschichtung aus partikulären Hochleistungspolymeren

102018210698.3 Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von hoch-dynamischen Leistungsdichteverteilungen u. a. für Lasermaterialbearbeitungsprozesse

102018214715.9 Verfahren und Vorrichtung zum Abbau von Schadstoffen in Wasser

102018220342.3 Methode zur semantischen Segmentierung von mehrdimensionalen Prozessdaten in der Lasermaterialbearbeitung

102018216206.9 Verfahren zum Glätten der Oberfläche eines Kunststoffbauteils

102018128754.2 Vorrichtung und Verfahren zur Elementanalyse von Materialien

102018217774.0 Radar- und Lichtausstrahlungsanordnung für Fahrzeuge zum Ausstrahlen von Licht und Radarstrahlung sowie Verfahren und Verwendung

102018132660.2 Kompakte optische Abtastvorrichtung

PATENTANMELDUNGEN EUROPA

EP18173136.5 Verfahren zur Verringerung der Reibung aneinander gleitender und/oder rollender Flächen

PCT/EP2018/051450 Verfahren zum Fügen von Bauteilen auf eine Trägerstruktur unter Einsatz von elektromagnetischer Strahlung

PCT/EP2018/058883 Verfahren und Vorrichtung zur Bereitstellung einer eine gewünschte Zielprotein-Expression aufweisenden Zelllinie

PCT/EP2018/058884 Veränderung der Leistung beim Wobbeln

PCT/EP2018/000419 Vorrichtung und Verfahren zur Materialbearbeitung

PCT/EP2018/079238 Verfahren zur Beschichtung einer metallischen Oberfläche mit einem metallischen Material

PCT/EP2018/067097 Vorrichtung zum Laserauftragsschweißen

PCT/EP2018/069520 Verfahren zur Bearbeitung einer Oberfläche und Laserscannvorrichtung

18191074.6 Monitoring of tissue coagulation by optical reflectance signals

PCT/EP2018/086895 Method of treating a layer of material with energetic radiation

18020564.3 Vorrichtung zum Beschichten eines Werkstücks mit mindestens einem Hochleistungspolymer; Beschichtungsverfahren

PCT/EP2018/058705 Verfahren und Anordnung zur kontinuierlichen oder quasikontinuierlichen generativen Fertigung von Bauteilen

PATENTANMELDUNGEN USA

15/987,218 Laser beam irradiation apparatus and method of manufacturing organic light emitting display device by using the same

DISSERTATIONEN

DISSERTATIONEN

15.2.2018 – Torsten Hermanns (Dr. rer. nat.)

Interaktive Prozesssimulation für das industrielle Umfeld am Beispiel des Bohrens mit Laserstrahlung

15.6.2018 – Nelli Hambach, geb. Brandt (Dr.-Ing.)

Grenzen der Lochdichte beim Perkussionsbohren mit Ultrakurzpulslasern

15.6.2018 – Christian Hördemann (Dr.-Ing.)

Partikelfreier Abtrag von Schichtsystemen für Feststoffbatterien mittels Ultrakurzpuls-Laserbearbeitung

2.7.2018 – John Walter Flemmer (Dr.-Ing.)

CAM-NC-Datenkette für die Laserbearbeitung von Freiformflächen mit simultaner Bewegung mechanischer Achsen und galvanometrischem Laserscanner

10.7.2018 – Marie Jeanne Livrozet (Dr. rer. nat.)

Design und Charakteristik eines satellitentauglichen optisch-parametrischen Oszillators im nahen Infrarot

10.8.2018 – Stefan Janssen (Dr.-Ing.)

Laserstrahl-Bohren von CFK-Preforms

17.8.2018 – Maximilian Meixlsperger (Dr.-Ing.)

Anwendungsspezifische Prozessführung des Selective Laser Melting am Beispiel von AlSi-Legierungen im Automobilbau

20.9.2018 – Stefan Herbert (Dr. rer. nat.)

Bildgebung im kurzwelligen Spektralbereich zur Inspektion von Nanodefekten

8.10.2018 – Lisa Bürgermeister (Dr. rer. nat.)

Modellierung und Simulation der Degradation Mikrogel-funktionalisierter Fasern aus Polyester

11.10.2018 – Christian Rüdiger Hinke (Dr.-Ing.)

Digitale Photonische Produktion

8.11.2018 – Michael Ungers (Dr.-Ing.)

Bildgebende Prozessüberwachung und -steuerung zur Qualitätssicherung für das Laserstrahlhartlöten

19.11.2018 – Sascha Brose (Dr. rer. nat.)

Auslegung und Charakterisierung einer Nanostrukturierungsanlage für den extrem ultravioletten Strahlungsbereich

30.11.2018 – Lucas Jauer (Dr.-Ing.)

Laser Powder Bed Fusion von Magnesiumlegierung

3.12.2018 – Hendrik Sändker (Dr.-Ing.)

Laserbasierte Herstellung funktionaler Beschichtungen aus partikulärem Polyetheretherketon

6.12.2018 – Alexander von Wezyk (Dr. rer. nat.)

Emissionscharakteristik von XUV-Strahlungsquellen bei Wellenlängen im Spektralbereich zwischen 2 und 10 nm

14.12.2018 – Ulrich Halm (Dr. rer. nat.)

Simulation hochdynamischer Vorgänge in der Schmelze beim Laserstrahlschneiden

VERANSTALTUNGEN



Sehr gut besucht: konferenzbegleitende Ausstellung auf dem AKL'18 – International Laser Technology Congress in Aachen.

AKL'18

AKL'18 – International Laser Technology Congress 2.–4. Mai 2018 in Aachen

Vom 2. bis 4. Mai 2018 fand zum zwölften Mal der AKL am Fraunhofer ILT in Aachen statt. An dem in Europa führenden Kongress für angewandte Lasertechnik in der Produktion nahmen 661 Experten aus Industrie und Wissenschaft aus 26 Ländern teil. Neben zahlreichen Gelegenheiten zum Networking erwartete die Besucher ein vielfältiges Programm mit 77 Vorträgen, die feierliche Verleihung des Innovation Award Laser Technology und eine Reihe von Rahmenveranstaltungen. Die begleitende Sponsorenausstellung war mit 56 Firmen lange im Voraus ausgebucht. Die Fachkonferenz mit drei Themensträngen wurde durch zwei Foren zur Prozessüberwachung und zur Additiven Fertigung sowie durch das »Einsteigerseminar Lasertechnik« und den »Technologie Business Tag« komplettiert. Sehr gut besucht war wieder die Open-House-Veranstaltung »Lasertechnik Live«, bei der die Experten des Fraunhofer ILT über 100 Verfahren und Systeme live in den Laboren vorführten.

Technologische Fachkonferenz

Das Themenspektrum der technologischen Fachkonferenz reichte von neuen Laserstrahlquellen über innovative Prozesstechnologien bis hin zu industriellen Pionierapplikationen. Mit dem Trend zu höherer Produktivität kommt es zu disruptiven Einzelinnovationen sowie einer wachsenden Digitalisierung in der Laserfertigung. Das Thema Digital Photonic Production wurde deshalb auch in einer separaten Session beleuchtet.

Zu den disruptiven Innovationen auf dem AKL'18 gehörten leistungsstarke Ultrakurzpuls(UKP)-Laser im kW-Bereich und neue Diodenlasersysteme mit applikationsangepassten Wellenlängen. Während sich UKP-Laser mit etwa 50 W gut etabliert haben, kommen jetzt Systeme mit mehreren Hundert Watt auf den Markt. Von ihnen wird deutlich mehr Produktivität erwartet, wobei neben den Strahlquellen die richtige Prozesstechnik ein entscheidender Faktor sein wird. Im strategischen Fraunhofer Cluster of Excellence Advanced Photon Sources CAPS werden in den kommenden zwei Jahren im Zusammenschluss mehrerer Institute UKP-Laser im Multi-kW-Bereich entwickelt. Bei den Diodenlasern eignen sich innovative fasergekoppelte cw-Strahlquellen im blauen Wellenlängenbereich für anspruchsvolle Anwendungen wie das Kupferschweißen. Das blaue Licht eröffnet zudem neue Perspektiven im Unterwasserbereich oder bei wassergeführten Lasersystemen.

Schneiden und Schweißen sind die wichtigsten Anwendungen für industrielle Lasertechnik. Vorgestellt wurde auf dem AKL'18 die Entwicklung eines Hochgeschwindigkeits-Laserschneidsystems für bis zu 19.000 Bleche pro Tag, mit dem die Produktivität im Vergleich zu konventionellen Stanzanlagen verzehnfacht werden konnte.

Auch das hochaktuelle Thema »Perspektiven der Quantenphotonik« wurde beim AKL'18 erstmals aufgegriffen. Quantensensorik ist dabei das Gebiet, in dem kurzfristig die meisten Anwendungen erwartet werden. Mithilfe von extrem empfindlichen Magnetometern können bereits Ströme in Schaltkreisen oder auch im Gehirn gemessen werden.

Eine Liste der wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Vorträge sowie Bachelor- und Masterarbeiten finden Sie online in unserer Mediathek unter: www.ilt.fraunhofer.de/de/mediathek.html



»Lasertechnik Live« am 3. Mai 2018 im Fraunhofer ILT.



Polymer Optics Days 2018 in Aachen.



Prof. Johannes Henrich Schleifenbaum auf der 3D Valley Conference 2018.

Fachforen »Prozessüberwachung« und »Additive Fertigung«

Der dreitägige AKL'18 startete mit den Fachforen »Prozessüberwachung« und »Additive Fertigung«, bei denen Maßnahmen zur weiteren Automatisierung und zur Steigerung der Produktivität im Vordergrund standen. Das Spektrum an Sensoren für die Prozessüberwachung ist inzwischen breit. Für die Qualitätsüberwachung müssen vor, während und nach dem Bearbeitungsprozess die relevanten Parameter der Werkstücke, Prozesse und Werkzeuge aufgenommen und mit vorgegebenen Grenzen verglichen werden. Mit den dokumentierten Daten können im Rahmen von Industrie 4.0 sowohl die Produktivität als auch die nötige Wartung überwacht und geplant werden.

Entwickelte Kontrollsysteme eignen sich auch zur Prozessoptimierung z. B. für Schweißanwendungen. In einem Regelkreis werden Abweichungen von einem Sollwert erfasst und bestimmte Prozessparameter korrigiert, bis ein Optimum erreicht ist. Mit Blick auf das rapide Marktwachstum von etwa 70 Prozent in 2017 für Additive Technologien gehört die Prozessoptimierung auch hier zu den aktuellen Aufgaben.

»Lasertechnik Live«

Auf der sehr gut besuchten Veranstaltung »Lasertechnik Live« am 3. Mai 2018 konnten sich die Teilnehmer bei über 100 Live-Präsentationen im Fraunhofer ILT mit den Aachener Forschern intensiv über neue technologische Entwicklungen austauschen. Das Themenspektrum reichte von der Strahlquellen- und Optikentwicklung über die Makro- und Mikromaterialbearbeitung bis hin zur Lasermesstechnik.

Start des »I³-Research Center for Digital Photonic Production – RCDPP«

Am Abend des 3. Mai 2018 gab Prof. Reinhart Poprawe den Startschuss für eine neue Form der universitären Zusammenarbeit innerhalb des »I³-Research Center for Digital Photonic Production« (RCDPP). In diesem Integrierten Interdisziplinären Institut, kurz I³, erforschen künftig Wissenschaftler von 16 Instituten aus 6 Fakultäten der RWTH Aachen University die Nutzung der einzigartigen physikalischen Eigenschaften des Photons für die Produktion der Zukunft. Damit wird die industriell verankerte Forschungsarbeit des »Digital Photonic Production DPP Research Campus«, einer BMBF-geförderten Initiative, auf der universitären Seite ergänzt.

Innovation Award Laser Technology

Die Verleihung des Innovation Award Laser Technology am 2. Mai 2018 im Krönungssaal des Aachener Rathauses war ein besonderer Höhepunkt beim AKL'18. Der mit 10.000 Euro dotierte Preis wird vom Arbeitskreis Lasertechnik e. V. und dem European Laser Institute (ELI) e. V. vergeben und würdigt Innovationen im Bereich der angewandten Lasertechnik. Den ersten Preis erhielt das Team um Dr. Axel Luft (Laserline GmbH) für die Entwicklung eines »Multi-Spot-Moduls zur Verbesserung von Fügeprozessen durch maßgeschneiderte Spot-Geometrien«. Das Team von VW, Scansonic und Laserline entwickelte ein System zum Laserlöten, das Kosten- und Qualitätsvorteile z. B. in der Automobilfertigung bietet.

VERANSTALTUNGEN

10./11.4.2018, Aachen

Aachen Polymer Optics Days 2018

Organisiert von Fraunhofer ILT, Fraunhofer IPT und dem Institut für Kunststoffverarbeitung IKV in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen University.

Im Mittelpunkt der Veranstaltung standen Themen wie:

- Spritzgegossene Optiken
- Kontinuierliche Produktion flächiger Optiken und Folien
- Neue Werkstoffe und Anwendungen für Kunststoffoptiken
- Lichtquellen und optische Systeme
- Digitalisierung für die Optikproduktion

Während der Veranstaltung konnten die Teilnehmer die Labore des Fraunhofer ILT besichtigen.

12./13.9.2018, Aachen

3rd Conference on Laser Polishing LaP 2018

Ziel der vom Fraunhofer ILT organisierten Konferenz: Präsentation von wissenschaftlichen und anwendungsbezogenen Ergebnissen zum Laserpolieren, Plattform für Experten, die weltweit am Laserpolieren arbeiten sowie die Förderung von Diskussionen und neuen wissenschaftlichen Kooperationen. Insgesamt 84 Teilnehmer aus 14 Ländern besuchten die zweitägige Konferenz am Fraunhofer ILT.

12./13.9.2018, Frankfurt a.M.

Discover 3D Printing auf der Automechanika Frankfurt

Seminar für Neueinsteiger zum Thema 3D-Druck gehalten von Max Fabian Steiner vom Fraunhofer ILT und Christoph Zymly vom ACAM Aachen Center for Additive Manufacturing.

Inhalte des Seminars waren:

- Was sind 3D-Druck und Additive Fertigung und wie funktioniert das überhaupt?
- Kann 3D-Druck in meiner Produktion Sinn machen?
- Kann ich damit Geld verdienen?
- Wo finde ich Beispiele zu Hindernissen, Erfahrungen und zur erfolgreichen Implementierung?
- Was sind die ersten/nächsten Schritte zur Einführung von 3D-Druck?

25.–27.9.2018, Aachen

3D Valley Conference 2018

Organisiert von der TEMA Technologie Marketing AG und dem ACAM Aachen Center for Additive Manufacturing. Thema: Einsatz von Additive Manufacturing in Bezug auf industrielle Anwendungen, neue Entwicklungen von Prozessen, integrierte Prozessketten und innovative Geschäftsmodelle.

- Teilnahme des Fraunhofer ILT an der begleitenden Industrieausstellung.
- Vorträge und Seminare von Dr. Sebastian Bremen, Prof. Johannes Henrich Schleifenbaum, Christoph Gayer und Anders Such vom Fraunhofer ILT.

12.10.2018, Bochum

LaserForum 2018

Das LaserForum wird vom IVAM Fachverband für Mikrotechnik gemeinsam mit den Partnern Fraunhofer ILT, Laser Zentrum Hannover e.V. und dem Lehrstuhl für Laseranwendungstechnik (LAT) der Ruhr-Universität Bochum (RUB) veranstaltet. Hier werden einmal jährlich ausgewählte Fragestellungen und Trends zum Einsatz von Lasertechnik entlang der gesamten Wertschöpfungskette vorgestellt und diskutiert.

- Thema: 3D-Fertigung von Präzisionsbauteilen
- Vortrag von Dr. Arnold Gillner zum Thema »Photonic Milling – 3D-Bearbeitung mit Hochleistungs-Ultrakurzpulslasern«

22.11.2018, Aachen

Grundlagenseminar Laserauftragschweißen

Im Rahmen des ACAM Aachen Center for Additive Manufacturing Seminarprogramms führte Max Fabian Steiner vom Fraunhofer ILT im Cluster Photonik das Grundlagenseminar Laserauftragschweißen durch. Im Anschluss an die Veranstaltung gab es eine geführte Tour durch die Labore des Fraunhofer ILT.

8.–10.12.2018, Nanjing, China

Sino-German Cooperation Summit on Intelligent Manufacturing

Das Summit in Nanjing konzentrierte sich auf die Themen Internet der Zukunft, intelligente Fertigung, Innovation in der Wissenschaft und Technik sowie die zentrale Wirtschaft. Das Fraunhofer ILT und das Fraunhofer IPT haben im Rahmen der Veranstaltung in der Nanjing Future Science and Technology City ein Innovations- und Ausstellungszentrum eröffnet. Als Basis für den Technologietransfer der beiden Institute wird das Zentrum die technische Zusammenarbeit und die Initiativen zur industriellen Inkubation zwischen China und Deutschland im Bereich der intelligenten Fertigung weiter fördern. Vorträge wurden von Prof. Reinhart Poprawe und Frank Zibner gehalten.

11.12.2018, Aachen

Innovationsforum smartSHM – Workshop 1

»Metall- und Hartkomponenten« war das Thema des ersten Fachworkshops des »Innovationsforum smartSHM« am Fraunhofer ILT. Der Fokus des Workshops lag auf Sensorlösungen, die auf Metall und harten, homogenen Strukturen aufgebaut bzw. angebracht werden.

Das branchenübergreifende Netzwerk »Innovationsforum smartSHM« fördert die interdisziplinäre Vernetzung von Unternehmen und Forschungseinrichtungen mit dem Ziel, smarte SHM-Lösungen auf Basis »führender«, sich selbst diagnostizierender Komponenten entlang des gesamten Produktlebenszyklus – von der Produktentwicklung bis zur

integrierten Nutzung in Serienbauteilen und komplexen technischen Systemen – zu realisieren. Das Konsortium besteht derzeit aus elf Instituten der RWTH Aachen University, drei Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft, u. a. dem Fraunhofer ILT, und einem wachsenden Kreis von assoziierten gewerblichen Unternehmen.

KOLLOQUIUM LASERTECHNIK AN DER RWTH AACHEN

23.10.2018 – Lehrstuhl für Lasertechnik LLT

Dr. Peter Thierolf, Fakultät für Physik der LMU München
»The elusive 229-Thorium isomer: On the road towards a nuclear clock«

8.11.2018 – Lehrstuhl für Lasertechnik LLT

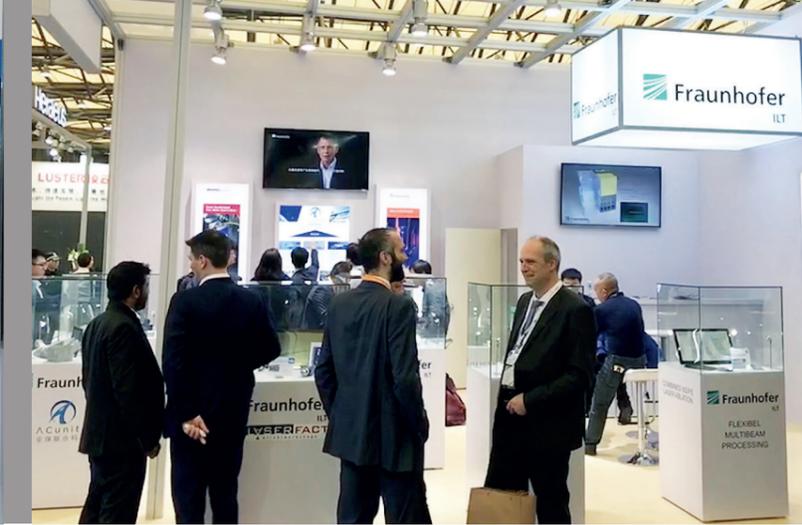
Dr. Falk Rühl
»Quanten existieren nicht! Eine alternative, logisch konsistente Beschreibung von Quantenexperimenten«

22.11.2018 – Lehrstuhl für Lasertechnik LLT

Prof. Xinhua Wu, Monash Centre for Additive Manufacturing (MCAM) Monash University, Melbourne, Australia
»New light alloy and metallurgical issues for Selective Laser Melting (SLM)«



Fraunhofer ILT auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand der analytica 2018 in München.



Gut besucht: Fraunhofer ILT-Stand auf der LASER World of PHOTONICS China in Shanghai.

MESSEN

27.1.–1.2.2018, San Francisco, USA

SPIE Photonics West

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik

Vertreten auf dem Gemeinschaftsstand der Bundesrepublik Deutschland zeigte das Fraunhofer ILT folgende Exponate:

- Laser für satelliten-basierte LIDAR-Systeme (FULAS)
 - Thermomechanisch robuster OPO-Demonstrator für die Klimamission MERLIN
 - Fasergekoppeltes Diodenlasermodul mit dichter Wellenlängenüberlagerung (EU-Projekt »BRIDLE«)
- Auf der begleitenden Konferenz wurden insgesamt zehn Vorträge von Fraunhofer ILT-Experten gehalten.

6.–8.3.2018, Paris, Frankreich

JEC World 2018

The Leading International Composites Show

Das Fraunhofer ILT präsentierte auf dem Gemeinschaftsstand des Aachener Zentrums für integrativen Leichtbau (AZL) laserbasierte Technologien für die industrielle Bearbeitung von faserverstärkten Kunststoffen:

- Multi-Material-Dachspiegel-Demonstrator (HyBrilLight-Projekt)
- Schneiden von GFK-CFK-Mischbauteilen
- High-Speed-Mikrostrukturierung von Metallen für Kunststoff-Metall-Hybridverbindungen

14.–16.3.2018, Shanghai, China

LASER World of PHOTONICS China

Internationale Fachmesse für Optik und Photonik

Das Fraunhofer ILT präsentierte auf der LASER World of PHOTONICS China neue Ideen für die industrielle Laseranwendung. Dazu gehörte eine selbst-justierende Wendelohtik für ultrapräzise Bohrungen und Schnitte.

Außerdem wurden Lösungen für die laserbasierte Mikro- und Makrobearbeitung verschiedenster Materialien vorgestellt. Dort zu sehen war auch der Laserfact-Kombikopf, der das hochpräzise Schneiden und Schweißen ohne Werkzeugwechsel erlaubt. Die Topthemen auf der LASER China waren:

- Material Ablation using Ultrashort Pulsed Laser
 - New Helical Drilling Optics with Smart Sensor Systems and Automated Adjustment
 - Multi-Beam Laser Processing
 - Laserfact Combi-Head
 - Laser Material Deposition and Cladding
- MitAussteller: Laserfact GmbH, ACunity GmbH.

Das Fraunhofer ILT war parallel auf der 13th International Laser Processing and Systems Conference (LPC 2018) in Shanghai mit 4 Vorträgen vertreten. Prof. Reinhart Poprawe fungierte zudem als einer der beiden General Chairs der Konferenz.

10.–13.4.2018, München

analytica 2018

26. Internationale Leitmesse für Labortechnik, Analytik, Biotechnologie

Das Fraunhofer ILT war auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand mit folgenden Themen vertreten:

- OptisCell – Prozesskette zur automatisierten Zellisolation
Im Rahmen des MAVO-Forschungsprojekts »OptisCell« entwickeln die drei Fraunhofer-Institute ILT, IGB und FIT eine automatisierte Selektion einzelner Zellen für die Herstellung von High-Producer-Zelllinien für die Biologika-Produktion
- LIFTSYS-Workbench – Laserbasierter Zellpicker
Optische Analyse von Zellen im geschlossenen und klimatisierten Arbeitsraum durch Laser Induced Forward Transfer (LIFT) in Mikrotiterplatte
- Thiol-en basierte Photoharze für die Herstellung optischer Bauteile



Laserbasierte Technologien für die Optikfertigung von Glasmaterialien auf der Optatec 2018.



COMPAMED 2018: Fraunhofer ILT auf dem IVAM-Gemeinschaftsstand.



Zukunftsweisende Trends für die Blechbearbeitung auf der EuroBLECH 2018.

Das Fraunhofer ILT entwickelt verbesserte Materialsysteme und die Prozesstechnik zur individuellen Herstellung von (Mikro-) Optiken mittels Stereolithographie. Die Grundlage dafür bildet die Verwendung der Thiol-En Klick-Chemie zur Polymerisierung spezieller Photoharze, um Optiken mit hohem Brechungsindex und niedriger Dispersion herstellen zu können.

23.–27.4.2018, Hannover

Hannover Messe Industrie 2018

Die Aachener Fraunhofer-Institute IPT, ILT sowie IME wollen im Leistungszentrum »Vernetzte, adaptive Produktion« gemeinsam mit namhaften Industriepartnern neue Produktionssysteme und Wertschöpfungsketten im Sinne der Industrie 4.0 entwickeln und damit die Standards für die Fertigung von morgen setzen. Dieses Leistungszentrum wurde auf der Hannover Messe Industrie feierlich eröffnet. Auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand stellte das Fraunhofer ILT zum Thema »Batterieproduktion und E-Mobilität« aus und zeigte zudem, wie mittels Additiver Fertigung und einem digitalen Zwilling eine Turbinenschaufel produziert und repariert werden kann.

24.–27.4.2018, Stuttgart

Control 2018

Das Fraunhofer ILT zeigte auf dem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Allianz »VISION« ein anlagenintegriertes System mit Funktionen zur Prozesseinrichtung, Pulvergasstrahlvermessung und Prozessüberwachung für das Laserauftragschweißen. Mit diesem System können in der Anlage Pulvergasstrahlröhren zertifiziert und deren Pulvergasstrahl vollständig charakterisiert werden. Zusätzlich zur standardisierten und dokumentierten Prozesseinrichtung wird der Prozess visualisiert und überwacht.

25.–29.4.2018, Berlin

ILA Berlin Air Show 2018

Das Fraunhofer ILT war mit Exponaten aus dem Bereich Additive Manufacturing bzw. Laser Material Deposition (LMD) auf dem Stand der Fraunhofer-Allianz Verkehr – Arbeitsgruppe

Aviation – vertreten. Die Schaufelcluster, die durch Laser Powder Bed Fusion (LPBF) im 3D-Druck Verfahren hergestellt werden, sowie Anwendungen für eine automatisierte Reparaturprozesskette von Schaufel-Tips mit LMD wurden auf der ILA Berlin Air Show präsentiert.

15.–17.5.2018, Frankfurt a.M.

Optatec 2018

Internationale Fachmesse für optische Technologien, Komponenten und Systeme

Das Fraunhofer ILT präsentierte sich auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand mit laserbasierten Technologien für die Optikfertigung von Glasmaterialien:

- Laserbasierte Formgebung
- Laserpolieren
- Laser Beam Figuring

5.–7.6.2018, Erfurt

Rapid.Tech 2018

International Hub für Additive Manufacturing

Das Aachener Zentrum für 3D-Druck präsentierte sich auf dem Stand der FH Aachen. Das Aachener Zentrum für 3D-Druck ist ein Verbundprojekt zwischen dem Fraunhofer ILT und der FH Aachen mit dem Ziel, kleinen und mittelständischen Unternehmen den Zugang zur ganzheitlichen Prozesskette im Bereich Additive Manufacturing zu erschließen. Gezeigt wurden erste erfolgreich hergestellte Demonstratoren für eine ganzheitliche additive Prozesskette zur Herstellung großvolumiger Bauteile mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF). Des Weiteren präsentierte die FH Aachen ihr mobiles 3D-Druck Labor, den FabBus des GoetheLabs for AM.

16.–22.7.2018, Farnborough, UK

Farnborough International Airshow 2018

Additive Fertigungsverfahren wie der 3D-Druck heben sich dadurch ab, dass Bauteile nahezu beliebig komplex aufgebaut werden können. Um eine gute Oberflächenqualität bei metallischen Komponenten zu erreichen, muss oft mit Fräs- oder Schleifverfahren nachbearbeitet werden.

Gerade beim Fräsen dünnwandiger Bauteile kommt es oft zu Schwingungen, die die Genauigkeit und Bearbeitungsdauer verschlechtern. Die Fraunhofer-Institute ILT und IPT zeigten auf der Farnborough International Airshow am Beispiel der Fertigung von Triebwerkskomponenten, wie sich mit speziellen Stützstrukturen solche Schwingungen bei der Nachbearbeitung additiv gefertigter Bauteile verhindern lassen.

10.–15.9.2018, Chicago, USA

IMTS 2018

International Manufacturing Technology Show

Das Fraunhofer ILT präsentierte auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand:

- Bremsscheibe nach dem EHLA-Verfahren beschichtet
- Bauteile mittels μ -LPBF gefertigt
- Dünnschichtverfahren – Gedruckte und laserfunktionalisierte Sensoren an Bauteilen

1.–5.10.2018, Bremen

IAC 2018

International Astronautical Congress

Auf dem Stand der Fraunhofer-Allianz Space

stellte das Fraunhofer ILT zu folgenden Themen aus:

- Diodengepumpte Festkörperlaser für satellitengestützte Freiraumkommunikation
- Laser Powder Bed Fusion (LPBF)
- Optische Schlüsselkomponenten für robuste Lasersysteme
- Weltraumgestützter Optisch-parametrischer Oszillator (OPO)

9.–12.10.2018, Chania, Griechenland

ICSO 2018

International Conference on Space Optics

Das Fraunhofer ILT beteiligte sich im Rahmen der begleitenden

Ausstellung beim Stand der Fraunhofer-Allianz Space

mit diversen Exponaten aus dem Bereich der weltraumgeeigneter Lasertechnik.

14.–18.10.2018, Orlando, USA

ICALEO 2018

International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics

- fünf Vorträge der Fraunhofer ILT Experten in diversen Sessions u. a. »Surface Texturing«, »Laser Metal Deposition« und »Advanced High Power Microprocessing«
- Teilnahme des Fraunhofer ILT an der begleitenden Vendor's Exhibition

23.–26.10.2018, Hannover

EuroBLECH 2018

25. Internationale Technologiemesse für Blechbearbeitung

Auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand präsentierte das Fraunhofer ILT folgende Themen:

- Laserwärmebehandlung – Freiformoptik mit Sessel-Intensitätsverteilung zur lokalen Konditionierung von hochfesten Stählen mit hoher Vorschubgeschwindigkeit
- Laserstrahl-Hochgeschwindigkeitsschneiden
- Laserstrahlschweißen
- Laserbearbeitung von FVK- und FVK-Metall-Hybridmaterial

12.–15.11.2018, Düsseldorf

COMPAMED 2018

High-Tech Solutions for Medical Technology

Auf der COMPAMED präsentierte sich das Fraunhofer ILT auf dem IVAM-Gemeinschaftsstand mit folgenden Themenschwerpunkten:

- Laserpolieren
- Kunststoffbearbeitung
- Kompakte anwendungsspezifische μ FACS-Systeme
- High-Throughput Screening
- 3D-Mikrofluidiken
- OptisCell – Prozesskette zur automatisierten Zellisolation
- LIFTSYS® Workbench – Laserbasierter Zellpicker



formnext 2018: Fraunhofer ILT mit Ergebnissen zum Thema Additive Fertigung.

KUNDENREFERENZENZEN

Im Compamed High-Tech Forum by IVAM hielt Dr. Achim Lenenbach einen Vortrag in der von ihm organisierten Session »Laser and Photonics Applications I – Laser Surgery: Clinical Applications and Novel Developments«. Maximilian Brosda hielt dort ebenfalls einen Vortrag in der Session »Laser and Photonics Applications II – EPIC Tech Watch«.

13.–16.11.2018, Frankfurt a. M.

formnext 2018

International Exhibition and Conference on the Next Generation of Manufacturing Technologies

Auf der formnext 2018 stellte das Fraunhofer ILT auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand innovative Ergebnisse vor:

- Neue LPBF-Vorheizkonzepte mittels Vertical Surface Emitting Laser (VCSEL)
- »TwoCure«: Harzbasierter 3D-Druck ermöglicht die automatisierte Produktion von Kunststoffbauteilen ohne stützende Strukturen und in hoher Stückzahl
- Fraunhofer-Leitprojekt »futureAM«
- Werkstoffkonzepte für die Additive Fertigung – Elemental Powder Blend
- Software zur präzisen Kosten- und Bauzeitberechnung für das LPBF-Verfahren
- Laserauftragschweißen mit koaxialer Drahtzufuhr

Außerdem hielten Ulrich Thombansen und Andreas Vogelpoth jeweils einen Vortrag auf der »TCT Conference @ formnext« im Bereich New Research and Academia.

13.–16.11.2018, München

electronica 2018

Weltleitmesse und Konferenz der Elektronik

Auf der electronica 2018 präsentierte sich das Fraunhofer ILT auf dem Gemeinschaftsstand der Fraunhofer-Gesellschaft mit folgenden Themen:

- »Transport and Smart Mobility«
 - Kontaktierung von 18650-Batteriezellen mit gedrucktem Kupferverbinder
 - Kontaktierung prismatischer Batteriezellen mit einem Aluverbinder
 - Kontaktierung von Pouch-Zellen
- »Digital Industry«
 - Gedruckte und laserfunktionalisierte Sensorik auf Metallbauteilen
 - Gedruckte und laserfunktionalisierte Sensorik auf Kunststofffolien
 - Selektiv vergoldete Kontakte auf industriellen Verbindern
 - Wafer mit laserkristallisierter Siliziumschicht

Weitere Informationen zu unseren Messen und Veranstaltungen finden Sie im Internet unter: www.ilt.fraunhofer.de/de/messen-und-veranstaltungen.html



Stand Dezember 2018. Mit freundlicher Genehmigung der Kooperationspartner. Die aufgelisteten Firmen sind ein repräsentativer Ausschnitt aus der umfangreichen Kundenliste des Fraunhofer ILT.

ZUWENDUNGSGEBER

INFORMATIONEN

Einige der in diesem Jahresbericht vorgestellten Verbundprojekte wurden mit öffentlichen Mitteln gefördert. Wir möchten den Zuwendungsgebern an dieser Stelle für Ihre Unterstützung danken.



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Die Landesregierung
Nordrhein-Westfalen



EUROPÄISCHE UNION



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung



European Space Agency



DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft

Aktuelle Informationen des Fraunhofer ILT erhalten Sie auf unserer Webseite oder den unten aufgeführten Social-Media-Kanälen.

→ www.ilt.fraunhofer.de

Jahresbericht 2018 online



Weiterführende Online-Rubriken

- Projektergebnisse
- Verbundprojekte
- Aus den Technologiefeldern
- Branchen
- Messen und Veranstaltungen
- Wissenschaftliche Vorträge und Veröffentlichungen
- Dissertationen, Master- und Bachelorarbeiten
- Fachaufsätze und Fachbücher
- Patente
- Presse
- Mediathek



Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Steinbachstraße 15, 52074 Aachen

Telefon +49 241 8906-0

Fax +49 241 8906-121

info@ilt.fraunhofer.de

IMPRESSUM

Redaktion

Dipl.-Phys. Axel Bauer (verantw.)
M.A. Petra Nolis
Stefanie Flock

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Axel Bauer
Telefon +49 241 8906-194
axel.bauer@ilt.fraunhofer.de

Gestaltung und Produktion

Dipl.-Des. Andrea Croll
www.andrea-croll.de

Bildnachweis

- S. 17 (Bild o. re.), Berthold Leibinger Stiftung, Ditzingen
- S. 21 (Bild o. li.), Fraunhofer/Nell Jones
- S. 21 (Bild o. re.), Lehrstuhl TOS der RWTH Aachen University / Tobias Bonhoff
- S. 27, Fraunhofer ILT / aligator kommunikation
- S. 115, Fraunhofer ILT / M. Conrad-Franzen
- S. 117 (Bild o.), RWTH Aachen University
- S. 127 (Bild 1), Technologie-Park Herzogenrath GmbH
- S. 127 (Bild 2), Amphos GmbH
- S. 128, GKN Sinter Metals
- alle anderen Bilder: © Fraunhofer ILT, Aachen

Druck

Druckspektrum Hirche-Kurth GbR, Aachen
www.druck-spektrum.de

Änderungen bei Spezifikationen und anderen technischen Angaben bleiben vorbehalten.

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung der Redaktion.

© Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen 2019.
Online-Version, Stand Juni 2019.